

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки **13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)**

Отделение **Электроэнергетики и электротехники**

Профиль **Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование и электропривод механизма подъема крана

УДК 621.31:621.874-83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Гимранов Руслан Робертович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

**И. о. зав. кафедрой- руководителя
ОЭЭ ИШЭ**

_____ А.С. Ивашутенко
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Гимранову Руслану Робертовичу

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод механизма подъема крана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Кран мостовой опорный грузоподъемностью 10 т., режим работы – циклический.</p> <p>Требования к механизму подъема: диапазон регулирования $D=1:100$, при плавном регулировании скорости в момент пуска и торможения.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма передвижения; исследование работы мостового крана с помощью имитационной модели.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема электропривода подъема мостового крана Графики переходных процессов подъема</p>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Киселева Елена Станиславовна
«Социальная ответственность»	Немцова Ольга Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2020г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		20.03.2020г..

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Гимранов Руслан Робертович		20.03.2020г..

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 17 рис., 14 табл., 13 источников, 1 прил.

Ключевые слова: мостовой кран, асинхронный двигатель, имитационная модель, частотно-регулируемый электропривод.

Объектом исследования является кран мостовой двухбалочный опорный г/п 10 тонн

Цель работы – исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода механизма подъема мостового крана.

В процессе исследования проводились эксперименты в среде Matlab Simulink по исследованию электропривода мостового крана

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010). Также при работе использовались программы Matlab Simulink, Microsoft Visio 2010 и MathCAD.

Содержание

Введение.....	9
1 Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи	10
1.1 Краткая техническая характеристика мостового крана	10
1.2 Кинематические схемы механизмов мостового крана.....	12
1.3 Условия работы и требования, предъявляемые к электроприводу мостового крана	14
1.4 Современные крановые электроприводы, обоснование и выбор	15
1.5 Противораскачивание груза	19
1.6 Исходные данные и постановка задачи	21
2.2 Расчет редуктора и тормозного устройства	28
2.3 Расчет статических характеристик электродвигателя.....	30
2.4 Выбор типа преобразователя и расчет параметров структурной схемы двигателя	34
2.5 Расчет характеристик двигателя при векторном управлении и проверка выбора двигателя и преобразователя	35
2.6 Выбор напряжения питающей сети асинхронного электропривода с векторным управлением	40
2.7 Имитационная модель электрической части силового канала.....	41
2.8 Методика настройки контуров регулирования САУ асинхронного электропривода.....	46
2.8.1 Контур тока с ПИ-регулятором и датчиком тока	47
2.8.2 Контур скорости с ПИ-регулятором и датчиком скорости	50
2.8.3 Контур потокосцепления ротора с ПИ-регулятором и датчиком потока ..	52
2.9 Исследования имитационной модели электропривода подъема мостового крана с учетом крановой нагрузки	54
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	58
3 Социальная ответственность	59
3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	60

3.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	60
3.2. Производственная безопасность.....	62
3.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	62
3.2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	68
3.3. Экологическая безопасность	70
3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	75
4 «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	76
4.1 SWOT-анализ по разработке проекта электрообудования и электропривод механизма подъёма мостового крана	77
4.2. Разработка графика проведения работ технического проекта	79
4.2.1. Определение трудоемкости выполнения работ	79
4.2.2. Разработка последовательного комплекса работ проекта	80
4.3 Составление сметы технического проекта	79
4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование	79
4.3.3. Расчёт полной заработной платы	80
4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	81
4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	81
4.3.6. Накладные расходы.....	82
4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	82
4.4 Ресурсоэффективность	83
Заключение	86
Conclusion.....	87
Список использованных источников	88
Приложение А	90

Введение

Из всего многообразия общепромышленных механизмов, работающих на металлургических предприятиях, можно выделить группу, для которой особенно остро стоит проблема чрезмерно высокого уровня динамических нагрузок. В такую группу оборудования промышленных предприятий в первую очередь входят подъемно-транспортные механизмы: мостовые и козловые краны, крановые перегружатели, транспортеры, конвейеры, питатели и т.д. Среди этих механизмов в наиболее тяжелых условиях и интенсивных режимах работают мостовые краны. Многочисленными исследованиями установлено, что упругие механические колебания в подавляющем большинстве случаев отрицательно влияют на работу электропривода, вызывая повышение динамических нагрузок, снижение точности работы механизма, появление механических вибраций и опасных резонансных явлений. Возникающий при этом чрезмерно высокий уровень динамических нагрузок, особенно при пусках, реверсах и торможениях ведет к преждевременному выходу из строя элементов механизмов кранов и подкрановых конструкций.

При исследованиях, посвященных проблеме снижения динамических нагрузок было установлено, что самым эффективным способом снижения динамических нагрузок, а, следовательно, повышения долговечности механизмов передвижения кранов и подкрановых конструкций является модернизация существующих схем электроприводов и внедрение новых, которые обеспечивают снижение разницы в скоростях передвижения опор крана.

В связи с тем, что главную роль в создании условий высокой производительности подъемно-транспортного оборудования отводится электроприводу, то с учетом сложной специфики работы такого оборудования необходимо отдавать предпочтение простым и высоконадежным системам электроприводов.

1 Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи

1.1 Краткая техническая характеристика мостового крана

Кранами называются грузоподъемные устройства, циклического действия, служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов на большие расстояния. По особенностям конструкций, связанным с назначением и условиями работы, краны разделяются на мостовые, порталные, козловые, башенные и др. В цехах предприятий электромашиностроения наибольшее распространение получили мостовые краны, с помощью которых производится подъем и опускание тяжелых заготовок, деталей и узлов машин, а также их перемещение вдоль и поперек цеха. Вид мостового крана в основном определяется спецификой цеха и его технологией, однако многие узлы кранового оборудования, например механизмы подъема и передвижения, выполняются однотипными для различных разновидностей кранов.

На электрических кранах устанавливают электродвигатели, пусковые и регулировочные сопротивления, тормозные электромагниты, контроллеры, защитную, пускорегулирующую, сигнальную, блокировочную и осветительную аппаратуру, конечные выключатели, токосъемники. Питание на кран подается или через троллейные проводники, неподвижно закрепленные на строительных конструкциях, и токосъемники, закрепленные на кране, или при помощи гибкого шлангового кабеля. Электродвигатели, аппараты и электропроводку кранов монтируют в исполнении, соответствующем условиям окружающей среды [1].

В зависимости от вида транспортируемых грузов на мостовых кранах используют различные грузозахватывающие устройства: крюки, магниты, рейферы, клещи и т.п. В связи с этим различают краны крюковые, магнитные, рейферные, клещевые и т.п. Наибольшее распространение получили краны с крюковой подвеской или с подъемным электромагнитом, служащим для транспортировки стальных листов, стружки и других ферромагнитных материалов.

Мостовые краны в зависимости от назначения и характера выполняемой работы снабжают различными грузозахватными приспособлениями: крюками, грейферами, специальными захватами и т.п. Мостовой кран весьма удобен для использования, так как благодаря перемещению по крановым путям, расположенных в верхней части цеха, он не занимает полезной площади.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно - кратковременном режимом работы при большей частоте включения, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своём составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоконтроллеров, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих разные крановые электроприводы.

В настоящее время грузоподъемные машины выпускаются большим числом заводов. Эти машины используются во многих отраслях народного хозяйства в металлургии, строительстве, при добыче полезных ископаемых, машиностроении, транспорте, и в других отраслях.

Развитие машиностроения, занимающиеся производством грузоподъемных машин, является важным направлением развития народного хозяйства страны.

Мостовые краны состоят из несущих элементов, непосредственно опирающихся на крановый путь, и моста, перемещающегося по уложенным на стенах или внешних эстакадах рельсам (рисунок 1). Пути укладываются на подкрановые балки, опирающиеся на выступы верхней части колонны цеха. Механизм передвижения крана установлен на мосту крана. Управление всеми механизмами происходит из кабины, прикрепленной к мосту крана. Питание

электродвигателей осуществляется по цеховым троллеям. Для подвода электроэнергии применяют токосъемы скользящего типа, прикрепленные к металлоконструкции крана. В современных конструкциях мостовых кранов токопровод осуществляется с помощью гибкого кабеля. Привод ходовых колес осуществляется от электродвигателя через редуктор и трансмиссионный вал.

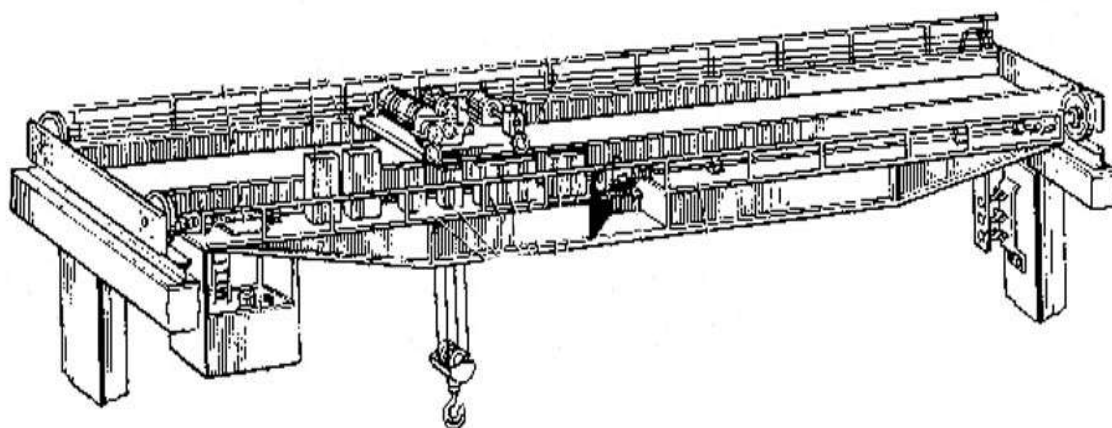


Рисунок 1 – Общий вид мостового крана

Любой современный грузоподъемный кран в соответствии с требованиями безопасности, может иметь для каждого рабочего движения в трех плоскостях, следующие самостоятельные механизмы: механизм подъема - опускания груза, механизм передвижения крана в горизонтальной плоскости и механизмы обслуживания зоны работы крана (передвижения тележки).

Грузоподъемные машины изготавливают для различных условий использования: по степени загрузки, времени работы, интенсивности ведения операций, степени ответственности грузоподъемных операций и климатических факторов эксплуатации.

1.2 Кинематические схемы механизмов мостового крана

Работу основных механизмов крана рассматривают по кинематическим схемам. Так как двигатели обычно имеют угловую скорость, значительно большую, чем скорость подъемного барабана или ходовых колес моста или

тележки, то движение к рабочим органам механизмов крана передается через редукторы.

Для механизмов подъема наибольшее применение получили схемы с полиспастом П (рисунок 2), при помощи которого движение от барабана Б передается крюку [2].

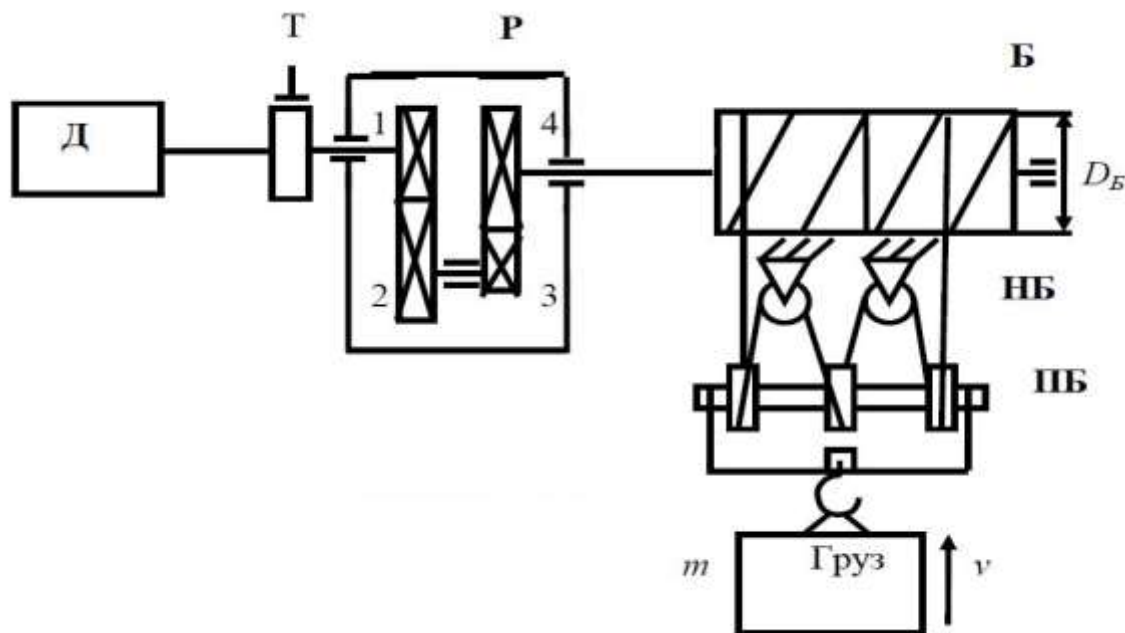


Рисунок 2 – Кинематическая схема механизма подъема

Двигатель Д через редуктор Р приводит во вращение барабан лебедки, на который канат наматывается при подъеме и сматывается при опускании груза m . Грузозахватное приспособление подвешивается на подвижных блоках ПБ, которые образуют с неподвижными относительно лебедки блоками НБ полиспаст.

Двигатель включается в работу после строповки груза, затем выбирается слабина каната. Далее выполняется разгон с ускорением не выше допустимого до рабочей скорости и обеспечивается подъем груза. При достижении заданной высоты двигатель тормозится, на вал двигателя накладывается тормоз Т. Удержание груза в подвешенном состоянии осуществляется тормозом.

При спуске груза выдерживается ускорение не выше допустимого, двигатель работает в тормозном режиме. При подходе груза к площадке выгрузки скорость спуска снижается, груз плавно устанавливается на площадку.

Ослабляется натяжение канатов для расстроповки груза, крюк отцепляется и цикл работы повторяется.

1.3 Условия работы и требования, предъявляемые к электроприводу мостового крана

Повышенная опасность работ при транспортировке поднятых грузов требует при проектировании и эксплуатации соблюдение обязательных правил по устройству и эксплуатации подъемно-транспортных машин. На механизмах подъема и передвижения правилами по устройству и эксплуатации предусмотрена установка ограничителей хода, которые воздействуют на электрическую схему управления. Конечные выключатели механизма подъема ограничивают ход грузозахватывающего приспособления вверх, а выключатели механизмов передвижения моста и тележки ограничивают ход механизмов в обе стороны. Предусматривается также установка конечных выключателей, предотвращающих наезд механизмов в случае работы двух и более кранов на одном мосту. Исключение составляют установки со скоростью движения до 30 м/мин. Крановые механизмы должны быть снабжены тормозами закрытого типа, действующими при снятии напряжения [4].

На крановых установках допускается применять рабочее напряжение до 500 В, поэтому крановые механизмы снабжают электрооборудованием на напряжения 220, 380, 500 В переменного тока и 220, 440 В постоянного тока. В схеме управления предусматривают максимальную защиту, отключающую двигатель при перегрузке и коротком замыкании. Нулевая защита исключает самозапуск двигателей при подаче напряжения после перерыва в электроснабжении. Для безопасного обслуживания электрооборудования, находящегося на ферме моста, устанавливают, блокировочные контакты на люке и двери кабины. При открывании люка или двери напряжение с электрооборудования снимается [5], [6].

Для качественного выполнения подъема, спуска и перемещения грузов электропривод крановых механизмов должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- регулирование угловой скорости двигателя в сравнительно широких пределах в связи с тем, что тяжелые грузы целесообразно перемещать с меньшей скоростью, а пустой крюк или ненагруженную тележку – с большей скоростью для увеличения производительности крана. Пониженные скорости необходимы также для осуществления точной остановки транспортируемых грузов с целью ограничения ударов при их посадке и облегчают работу оператора. Обеспечение необходимой жесткости механических характеристик привода, с тем чтобы низкие скорости почти не зависели от груза;

- ограничение ускорений до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов. Первое условие связано с ослаблением ударов в механических передачах при выборе зазора, с предотвращением пробуксовки ходовых колес тележек и мостов, с уменьшением раскачивания подвешенного на канатах груза при интенсивном разгоне и резком торможении механизмов передвижения; второе условие необходимо для обеспечения высокой производительности крана;

- реверсирование электропривода и обеспечение его работы, как в двигательном режиме, так и в тормозном режиме.

1.4 Современные крановые электроприводы, обоснование и выбор

Основное назначение электропривода крана - регулирование скорости механизмов подъема и передвижения в некотором диапазоне. В первую очередь, тип электропривода зависит от физических принципов регулирования скорости конкретных видов двигателей.

На практике чаще всего применяются следующие двигатели:

- электродвигатели постоянного тока;
- асинхронные электродвигатели с фазным ротором;
- асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

В таблице 1 приведены достоинства и недостатки электродвигателей, используемых на кранах.

Таблица 1 – Сравнение двигателей, используемых на кранах

	Достоинства	Недостатки
Двигатели постоянного тока	<ul style="list-style-type: none"> – простота устройства и принципов управления; – практически линейные механические и регулировочные характеристики; – большой пусковой момент. 	<ul style="list-style-type: none"> – дороговизна изготовления; – износ и необходимость профилактического обслуживания коллекторно-щёточных узлов; – необходимо дополнительно устанавливать в цеху выпрямители трехфазного напряжения.

Продолжение таблицы 1

	Достоинства	Недостатки
Асинхронные электродвигатели с фазным ротором	<ul style="list-style-type: none"> – большой начальный вращающий момент; – приблизительно постоянная скоростью при различных перегрузках; – меньший пусковой ток по сравнению с электродвигателями с короткозамкнутым ротором 	<ul style="list-style-type: none"> – большие габариты; – дороговизна изготовления; – износ и необходимость профилактического обслуживания коллекторно-щёточных узлов.
Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором	<ul style="list-style-type: none"> – относительная дешевизна; – отсутствие коллекторно-щёточных узлов; – легкость конструкции и простота ее изготовления; – высокий КПД и $\cos \varphi$ по сравнению с двигателями с фазным ротором. 	<ul style="list-style-type: none"> – большой пусковой ток (до 5-7 I_n); – сложное техническое оборудование для регулирования скорости вращения.

Двигатели постоянного тока получили широкое распространение на тяжелых металлургических производствах, в т.ч. на литейных кранах. В настоящее время, новые краны с двигателями постоянного тока практически не изготавливаются.

Асинхронные электродвигатели с фазным ротором получили наибольшее распространение на кранах в советское время и популярны в наши дни. Двигатели данного типа применяются как для реконструкции, так и для новых грузоподъемных кранов.

Существует множество разновидностей систем управления для двигателей с фазным ротором. Изменение скорости и момента таких двигателей достигается путем включения в цепь ротора дополнительных электрических устройств. В зависимости от требований к диапазону регулирования скорости могут применяться:

- реостатные системы;
- дроссельные системы без регулирования скорости;
- дроссельные системы с тиристорными регуляторами.

В качестве коммутационного оборудования в цепях статора и ротора могут применяться:

- силовые контакторы, пускатели, реверсоры (и другие механические устройства коммутации);
- тиристоры (тиристорные ключи);
- IGBT-транзисторы;
- гибридные системы.

На сегодняшний день такая система управления морально устарела и на фоне современных микропроцессорных систем управления мостовыми кранами зарубежных производителей с частотным регулированием отличается повышенным энергопотреблением. Явным недостатком такой системы является такое явление, как «избыточный динамический момент», который возникает в момент пуска электродвигателя. Это явление порождает ударные нагрузки, приводит к преждевременному износу элементов, появлению люфтов в трансмиссии приводов, снижению точности позиционирования, повышенной утомляемости операторов и, как следствие, ухудшение качества выполняемых грузоподъемным механизмом работ.

Текущие и капитальные ремонты дадут эффект только на несколько месяцев, а дальше снова «разбитые» элементы трансмиссии. Это явление обусловлено спецификой подбора первой ступени резисторов. В релейно-контакторных системах управления со ступенчатым регулированием скорости «избыточного динамического момента» никак не избежать – это технологическая особенность такого привода, она заключается в том, что первая пусковая ступень резисторов подбирается таким образом, чтобы пусковой момент асинхронного двигателя с фазным ротором был равен критическому моменту для устойчивости от «опрокидывания». То есть при пуске двигатель практически мгновенно развивает максимально-возможный момент, что порождает ударные нагрузки, именуемые «динамическим моментом». При проектировании и изготовлении грузоподъемного оборудования мощность электродвигателей в 2-3 раза превышала фактические требования механизма.

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором мало применялись на кранах в советское время в силу технологической сложности регулирования скорости. Использование ограничивалось легкими тельферными подъемниками, кран-балками и прочими одно-, двухскоростными тихоходными механизмами. В остальных случаях заменить двигатели постоянного тока либо двигатели с фазным ротором в то время они не могли. Ситуация изменилась лишь с широким распространением и удешевлением преобразователей частоты.

Снижение цен на полупроводниковые приборы в конце 90-ых годов подтолкнуло краностроителей к переходу к современным системам управления. Начиная с 2000 года в СНГ на новых кранах стали всё чаще применяться системы на базе преобразователей частоты. Преобразователи частоты позволяют плавно изменять величину напряжения и частоту на клеммах двигателя, благодаря чему становится возможным управлять скоростью вращения двигателя, сохраняя номинальный момент во всем диапазоне регулирования.

Использование асинхронного двигателя на базе преобразователя частоты обеспечит:

- абсолютный контроль и безударное регулирование скорости, ускорения и момента при любой массе груза (в пределах допускаемой);
- плавный разгон и торможение всех механизмов крана с заданным ускорением, что обеспечивает плавное нарастание моментов и усилий во всех узлах и механизмах крана;
- регулирование скорости АД с помощью преобразователей частоты дает экономию электроэнергии до 20 %, электроприводы работают с $\cos\varphi$ близким к 1;
- программируемый логический контроллер, использованный в системе кранового электропривода, и имеющий связь по сети с ПЧ, позволяет решить задачи диагностики, статистического сбора и обработки всех сигналов и нагрузок;
- тормозные колодки не требуют частой замены, а тормоза – постоянной регулировки, поскольку управляемое торможение осуществляют ПЧ, а тормоза служат лишь для удержания после полной остановки механизма;
- ограничение моментов как статических, так и динамических;
- устранение перекосов и раскачивания грузов;
- защита электродвигателей (максимально-токовая, время-токовая, тепловая и др.);
- улучшение условий работы оператора крана за счет применения современной аппаратуры управления;
- сокращение количества релейно-контакторной аппаратуры позволяет повысить надежность работы электрооборудования и уменьшить трудозатраты на профилактическое обслуживание;
- уменьшение динамических нагрузок на механизмы крана и увеличение сроков службы оборудования.

1.5 Противораскачивание груза

Каждое движение крана с подвешенным грузом приводит к его колебаниям, поэтому оператор крана должен постоянно корректировать свои

действия с учетом этого раскачивания. Опытный и внимательный оператор может достаточно быстро уменьшить колебания груза путем принятия соответствующих контрмер. Если же оператор не обладает большим опытом управления краном или оператор потерял внимание по причине утомления, то даже самые простые операции могут привести к огромной потере времени или к возникновению рисков коллизий и/или аварийных ситуаций.

Системы уменьшения колебаний груза (системы противораскачивания), снимают с оператора задачи по уменьшению раскачивания груза, как следствие он может сосредоточиться на управлении краном, сконцентрироваться на подъеме груза, его перемещении, позиционировании и опускании в нужную точку.

Системы противораскачивания служат для уменьшения колебаний груза, вызванных ускорениями механизмов в процессе эксплуатации крана. Успокоение достигается за счет точного воздействия на процессы разгона и торможения. Такие системы могут применяться как в составе систем управления для новых кранов, так и в качестве дополнения к уже существующим системам управления. Уменьшение колебаний позволяет снизить риск возникновения коллизий и аварийных ситуаций в сочетании с одновременной быстротой и точностью позиционирования груза. Система противораскачивания позволяет уменьшить колебания при перемещении моста, тележки и поворота крана одновременно.

Существует два основных вида электронных систем противораскачивания: системы с прямой обратной связью, имеющие в своем составе камеру и рефлектор (отражатель), которые обеспечивают получение оперативной достоверной информации об отклонении груза, и системы, работающие на основе математической модели, описывающей колебания груза при движении механизмов крана, то есть угол отклонения груза в той или иной плоскости вычисляется исходя из физических и математических законов [7].

В системах с обратной связью камера с высоким разрешением используется для измерения отклонения крюка или другого типа

грузозахватного органа от своей оси. Для того, что бы сделать это возможным, на грузозахватный механизм устанавливается специальный отражатель. В самом простом случае отражатель представляет собой плоскость квадратной формы с расположенными на ней в шахматном порядке двумя белыми квадратами. Данный тип рефлектора называется пассивным. В случае, когда на него могут воздействовать чрезмерное освещение или тени, которые влияют на точность системы измерения, рекомендуется использовать активный рефлектор, снабженный LED-матрицей, а также обогревом, способствующим таянию снега, если кран используется на открытом воздухе. Самым лучшим же выходом в случае использования системы «камера-рефлектор» является применения инфракрасного рефлектора и оснащение камеры инфракрасным фильтром. Точность определения колебаний составляет 5 мм на расстоянии от камеры до рефлектора 10м, точность определения расстояния между камерой и рефлектором составляет 1%. Такие системы способны также исключать колебания груза при наличии сильного бокового ветра.

Какой бы вид системы противораскачивания груза ни был установлен на кране, ее применение ведет к снижению времени выполнения операций, повышению точности позиционирования груза, уменьшению утомляемости операторов во время работы, а также снижает риск возникновения аварийных ситуаций.

1.6 Исходные данные и постановка задачи

Исходными данными проектирования являются физические и геометрические параметры механизма подъема мостового крана. Исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные проектирования

Наименование параметра	Значение параметра
Тип крана	кран мостовой опорный
Конструкция кранового моста	двухбалочный мост, балки коробчатые
Грузоподъемность крана, т	10
Кратность полиспаста, α	3
Номинальная скорость подъема, м/с	0,1
Номинальная скорость движения тележки, м/с	0,63
Диаметр барабана лебедки, м	$90 \cdot 10^{-3}$
Напряжение в канате, тс/см ²	2
Модуль упругости каната, тс/см ²	1500

Продолжение таблицы 2

Наименование параметра	Значение параметра
Продолжительность включения крана, %	25
Высота пролетной балки, м	2,5

2 Выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема

2.1 Выбор электродвигателя и определение параметров схемы замещения

Расчет предварительной мощности двигателя производится по формуле:

$$P \geq \frac{P_c}{k_T}, \quad (2.1)$$

где P – мощность двигателя, Вт;

P_c - статическая мощность электродвигателя, Вт ;

$k_T = 1$ – коэффициент, учитывающий режим работы механизма, вид управляющего устройства и электропривода [8].

Статическая мощность электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$P_c = \frac{F_{\Gamma} \cdot V}{\eta_M}, \quad (2.2)$$

где F_{Γ} - грузоподъёмная сила, Н;

$\eta_M = 0,9$ — значение КПД механизма подъёма.

Грузоподъёмная сила рассчитывается по формуле:

$$F_{\Gamma} = m_{\Gamma} \cdot g, \quad (2.3)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения,

m_{Γ} - номинальная масса груза, кг.

$$F_{\Gamma} = 10000 \cdot 9,81 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Статическая мощность электродвигателя

$$P_c = \frac{9,81 \cdot 10^4 \cdot 0,1}{0,9} = 10,9 \text{ кВт}$$

$$P \geq \frac{10,9 \cdot 10^3}{1} = 10,9 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Из справочника [9] выбираем с учетом ПВ = 25% и мощности $P > 10,9 \text{ кВт}$ электродвигатель серии 5А. Технические данные электродвигателя приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры электродвигателя

Типо- размер	$P_{дв.н},$ $кВт$	$n_{ном},$ $об/мин$	$\eta, \%$	$\cos \varphi_H$	$M_n /$ $M_{ном}$	$I_n /$ $I_{ном}$	$s_H, \%$	$J_{дв}, кг \cdot м^2$
5A160S6	11	970	87	0,82	1,9	6,5	3	0,11

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_{1н}}{z_p} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ рад/с.} \quad (2.4)$$

Угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_{дв.н} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,03) \cdot 104,7 = 101,5 \text{ рад/с.} \quad (2.5)$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.н} \cdot 10^3}{\omega_{дв.н}} = \frac{11 \cdot 10^3}{101,5} = 108,3 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.6)$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток (действующие значения) статора при схеме соединения обмоток звезда:

$$U_{1фн} = \frac{U_{1лн}}{\sqrt{3}}, \text{ В;} \quad (2.7)$$

$$I_{1фн} = I_{1лн} = I_{двн} = \frac{P_{двн}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \phi_H \cdot \eta_H} = \frac{11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,82 \cdot 0,87} = 23,36 \text{ А.} \quad (2.8)$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

$$I_{1\text{макс}} = k_{i\text{дв}} \cdot I_{1лн} = 6,5 \cdot 23,36 = 151,84 \text{ А.} \quad (2.9)$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_K = m_K \cdot M_{дв.н} = 2,5 \cdot 108,3 = 270,7 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.10)$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{дв.пуск} = m_{п} \cdot M_{дв.н} = 1,9 \cdot 108,3 = 205,7 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.11)$$

Ток холостого хода двигателя [10]:

$$I_0 = I_{\text{лн}} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p^*}}{I_{\text{лн}}}\right)^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_{\text{н}})}{(1 - p^* \cdot s_{\text{н}})}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_{\text{н}})}{(1 - p^* \cdot s_{\text{н}})}\right]^2}}, \text{ А} \quad (2.12)$$

где

$$I_{1p^*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{двн}}}{3 \cdot U_{\text{лфн}} \cdot (\cos \phi_{p^*} \cdot \eta_{p^*})} = \frac{0,75 \cdot 11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot (0,77 \cdot 0,87)} = 18,66 \text{ А} \quad - \quad \text{ток фазы}$$

статора при частичной нагрузке;

$p^* = 0,75$ – степень загрузки;

$\eta_{p^*} = \eta_{\text{н}} = 0,87$ – КПД при частичной нагрузке;

$\cos \phi_{p^*} = 0,77$ – коэффициент мощности в режиме частичной загрузки.

$$I_0 = 23,362 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{18,66}{23,362}\right)^2 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,03)}{(1 - 0,75 \cdot 0,03)}\right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,03)}{(1 - 0,75 \cdot 0,03)}\right]^2}} = 10,139 \text{ А.}$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot (1 - s_{\text{н}})}{2 \cdot m_{\text{к}} \cdot P_{\text{двн}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_{\text{к}}}\right)}, \text{ Ом} \quad (2.13)$$

где $C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\text{лфн}}} = 1 + \frac{10,139}{2 \cdot 6,5 \cdot 23,3} = 1,033$ – коэффициент,

характеризующий соотношением $\frac{X_{\mu} + X_{\text{л}\sigma}}{X_{\mu}}$;

$$R_2' = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,03)}{2 \cdot 2,5 \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot 1,033^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,03}\right)} = 0,328 \text{ Ом}$$

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,03 \cdot \frac{2,5 + \sqrt{2,5^2 - [1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,5 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,5 - 1)} = 0,159 \quad (2.14)$$

где $\beta = 1$ – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора.

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме:

$$R_1 = R_2' \cdot \beta \cdot C_1 = 0,328 \cdot 1 \cdot 1,033 = 0,339 \text{ Ом}. \quad (2.15)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме

$$X_{\text{кн}} = R_2' \cdot \gamma \cdot C_1 = 0,328 \cdot 6,225 \cdot 1,033 = 2,112 \text{ Ом}, \quad (2.16)$$

где $\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,03}\right)^2 - 1^2} = 6,225$ – коэффициент,

характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного активного сопротивления ротора.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 2,112 = 0,887 \text{ Ом}. \quad (2.17)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,887}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,823 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}. \quad (2.18)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме:

$$X_{2\sigma}' = 0,58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{2,112}{1,033} = 1,185 \text{ Ом}. \quad (2.19)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{лн}}} = \frac{1,185}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 3,773 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}. \quad (2.20)$$

ЭДС ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$E_1 = \sqrt{(U_{\text{лфн}} \cdot \cos \phi_{\text{н}} - I_{\text{лфн}} \cdot R_1)^2 + (U_{\text{лфн}} \cdot \sin \phi_{\text{н}} - I_{\text{лфн}} \cdot X_{1\sigma})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,82 - 23,36 \cdot 0,339)^2 + (220 \cdot 0,572 - 23,36 \cdot 0,887)^2} = 202,026 \text{ В} \quad (2.21)$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{202,026}{10,139} = 19,92 \text{ Ом}. \quad (2.22)$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре:

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{лн}}} = \frac{19,925}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,063 \text{ Гн}. \quad (2.23)$$

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, мГн	X_{μ} , мГн	L_{μ} , Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2\sigma}$, Ом	$L'_{2\sigma}$, мГн	$X_{\text{кн}}$, Ом
0,339	0,887	2,823	19,925	0,063	0,328	1,185	3,773	2,112

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя [11]:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 115,146 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.24)$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\text{лн}}^2 - I_0^2} = 114,975 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.25)$$

где

$$\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 10,139 \cdot 0,063 = 0,909 \text{ Вб}. \quad (2.26)$$

Условия выполняются:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1.1 \cdot M_{\text{дв.н}}$$
$$108,3 < 115,146 \leq 1,1 \cdot 114,975 = 119,12;$$
$$M_{\text{эм.н}}^{**} = 114,975 \approx M_{\text{эм.н}}^* = 115,146.$$

Следовательно, предварительно принятые значения $(\cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*})$ и β выбраны верно.

2.2 Расчет редуктора и тормозного устройства

Угловая скорость барабана вычисляется по формуле [12]:

$$\omega_{\delta} = \frac{2 \cdot V \cdot \alpha}{D_{\delta}}, \text{ рад} / \text{с} \quad (2.27)$$

где $\alpha=3$ – кратность полиспаста;

$D_{\delta} = 90 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – диаметр барабана.

$$\omega_{\delta} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 3}{90 \cdot 10^{-3}} = 6,6 \text{ рад} / \text{с}$$

Передаточное число вычисляется по формуле:

$$i = \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\delta}}, \quad (2.28)$$

Следовательно:

$$i = \frac{101,526}{6,6} = 15,3$$

Выбираем редуктор с передаточным отношением $i=16$.

Статический момент на входном валу редуктора при торможении определяется по формуле:

$$M_{\text{ст}} = \frac{M_{\Gamma} \cdot \eta_m \cdot \eta_a}{i} \quad (2.29)$$

где $M_{\text{ст}}$ – статистический момент на входном валу редуктора при торможении, Н·м;

M_{Γ} – грузовой момент на барабане, Н·м;

$\eta_m = 0,9$ – КПД механизма, принимаем равным КПД редуктора;

η_a – КПД полиспаста;

i – номинальное передаточное число редуктора.

Определяем КПД полиспаста по следующей формуле:

$$\eta_a = \left(\frac{1 + \eta_1 + \eta_1^2 + \dots + \eta_1^{a-1}}{a} \right) \cdot \eta_1^k, \quad (2.30)$$

где $\eta_1 = 0,98$ — КПД блока на подшипниках качения;

k — число обводных блоков (для мостового крана $k=0$).

КПД полиспаста:

$$\eta_a = \frac{1 + 0,98 + 0,98^2}{3} = 0,98;$$

Наибольшее натяжение ветви каната, набегающего на барабан при подъёме груза, вычисляется по формуле:

$$F_a = \frac{F_r}{\alpha \cdot \mu \cdot \eta_a}, \quad (2.31)$$

где F_a – натяжение ветви каната, Н·м

μ - число полиспастов. Для мостового крана $\mu=2$ т.е. оба конца каната закреплены на барабане для строго вертикального подъёма груза и выравнивания усилий на опоры барабана [2] (рисунок 3).

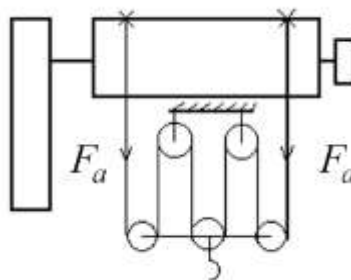


Рисунок 3 – Схема полиспаста механизма подъёма груза: $\mu = 2$, $\alpha = 3$

$$F_a = \frac{9,81 \cdot 10^4}{3 \cdot 2 \cdot 0,98} = 16,68 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Грузовой момент на барабане вычисляется по формуле:

$$M_r = \frac{\mu \cdot F_a \cdot D_{\delta}}{2}, \quad (2.32)$$

Получим:

$$M_{\Gamma} = \frac{2 \cdot 1,98 \cdot 10^4 \cdot 90 \cdot 10^{-3}}{2} = 1782 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Статический момент на входном валу редуктора:

$$M_{\text{ст}} = \frac{1782 \cdot 0,9 \cdot 0,98}{16} = 98 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тормозной момент, на который регулируют тормоз, рассчитывается по формуле:

$$M_{mp} \geq k \cdot M_{cp}, \quad (2.33)$$

где $M_{\text{тр}}$ – тормозной момент, Н·м;

k — коэффициент запаса торможения.

Согласно [2] $k > 1,5$. Принимаем $k = 2$.

$$M_{mp} = 2 \cdot 98 = 196 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.3 Расчет статических характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика $M_{\text{эм}}(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1\text{н}} = 50$ Гц рассчитывается по выражению [11]:

$$M_{\text{эм}}(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}, \quad (2.34)$$

где $M_{\text{эм}}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Механическая характеристика $\omega(M_{\text{эм}})$ показана на рисунке 4.

Значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении $s_{\text{н}}$:

$$M_{\text{эм}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 115,146 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

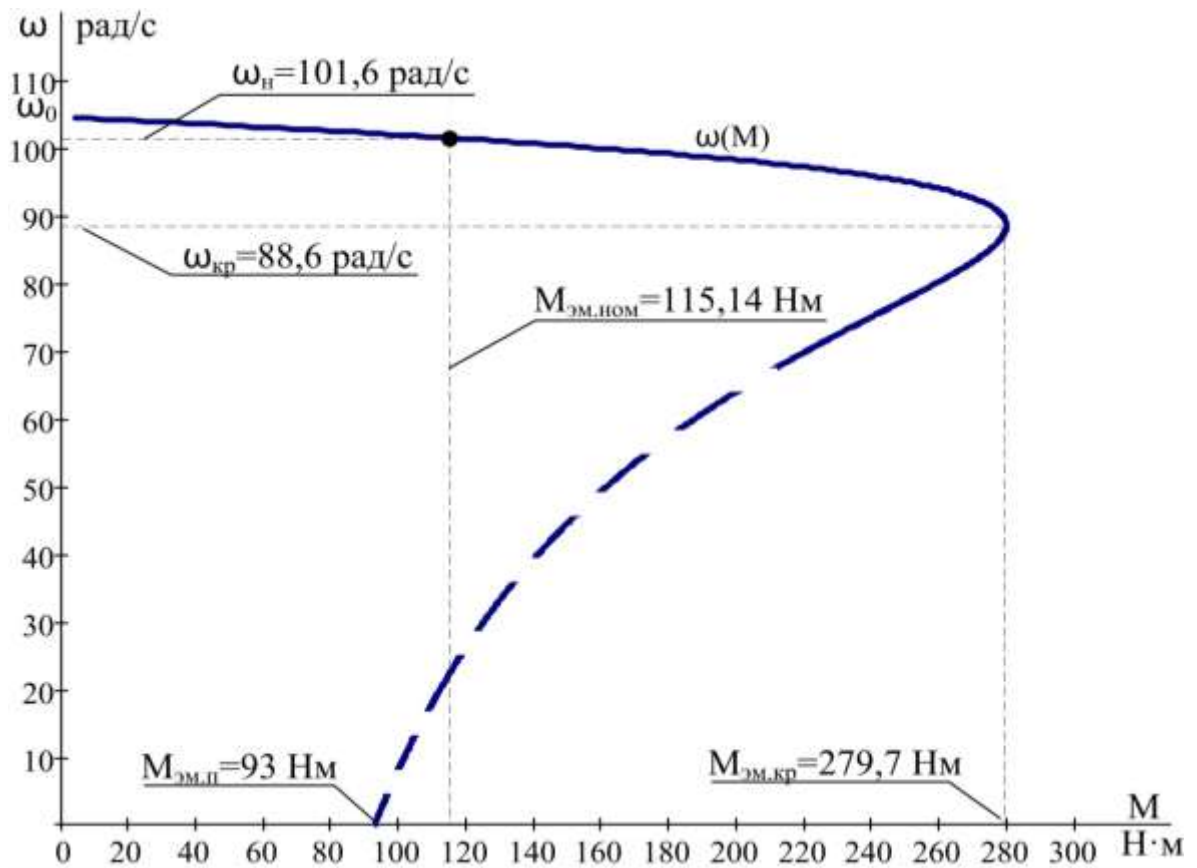


Рисунок 4 – Механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{с.дв} = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 115,146 - 108,23 = 6,8 \text{ Нм.} \quad (2.35)$$

Критическое скольжение:

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu}\right)^2}{R_1^2 + X_{кн}^2}} = 0,328 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,339}{19,925}\right)^2}{0,339^2 + 2,112^2}} = 0,153 ; \quad (2.36)$$

Электромагнитный критический момент при критическом скольжении:

$$M_{эм}(s_k) = M_{эм.к} = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu}\right)^2 \right]} \right\}} = 279,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Естественные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{1н} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} , \quad (2.37)$$

где $I_1 = I_{1\phi}$ – действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,339 + \frac{0,328}{s}\right)^2 + 2,112^2 + \left(\frac{0,339 \cdot 0,328}{s \cdot 19,925}\right)^2}};$$

– приведенный к обмотке статора ток ротора, А;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,339^2 + (0,887 + 19,925)^2}} = 10,56 \text{ А},$$

– действующее значение тока холостого хода, А;

$$\sin \phi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2}} = \frac{2,112}{\sqrt{\left(0,339 + \frac{0,328}{s}\right)^2 + (2,112)^2}}.$$

По результатам расчета построены электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ (рисунок 5), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s), \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.38)$$

Для скольжения $s = s_H$ рассчитывается значения номинального тока статора $I_{1H}(s_H)$.

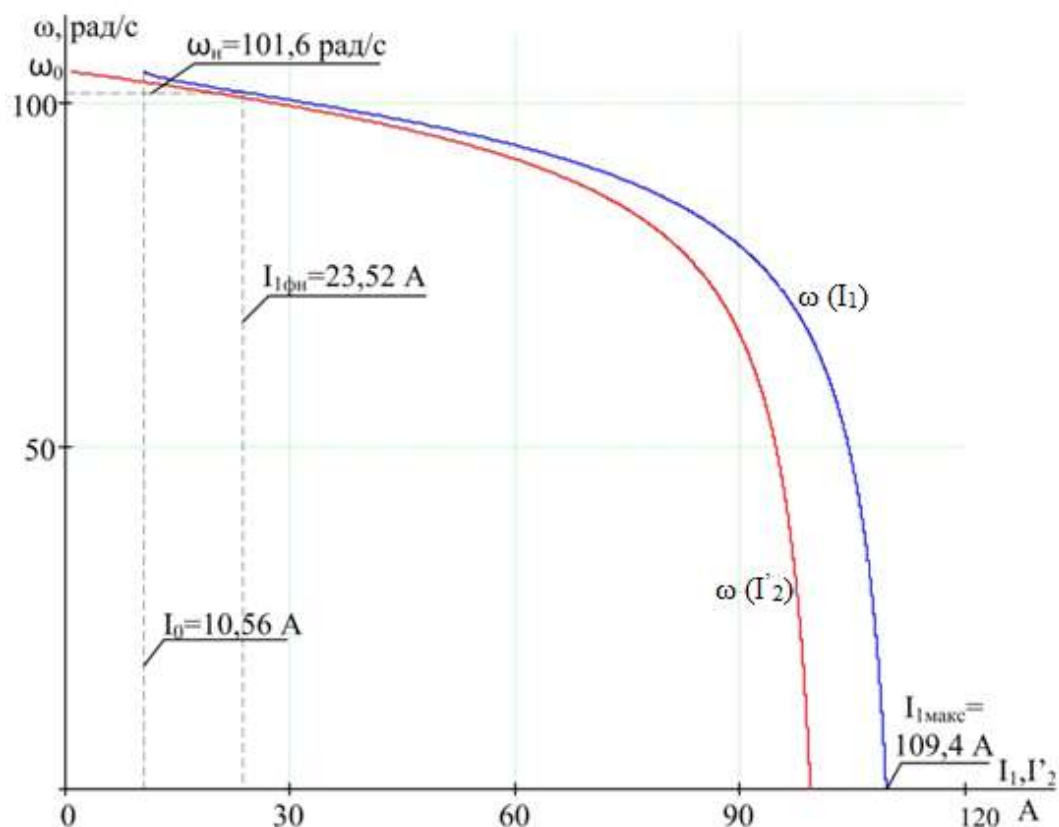


Рисунок 5 – Естественные электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2)$

В результате расчёта естественных характеристик двигателя получены следующие параметры для их характерных точек:

$$s_H = 3\% ; \quad s_K = 15,3\% ; \quad I_{1H} = 23,52 \text{ A} ; \quad I_{1\text{макс}} = 109,4 \text{ A} ;$$

$$I_{1\text{макс}} / I_{1H} = 4,68 ; \quad M_{\text{эм.н}} = 115,14 \text{ Н} \cdot \text{м} ; \quad M_{\text{эм.к}} = 279,7 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{\text{эм.к}} / M_{\text{эм.н}} = 2,42 ; \quad M_{\text{эм.пуск}} = 93 \text{ Н} \cdot \text{м} ; \quad M_{\text{эм.пуск}} / M_{\text{эм.н}} = 0,8 ;$$

Справочные и расчётные параметры двигателя:

$$s_H = 3\% ; \quad s_K = 15,9\% ; \quad I_{\text{дв.н}} = 23,36 \text{ A} ; \quad I_{\text{дв.макс}} = 151,84 \text{ A}$$

$$I_{\text{дв.макс}} / I_{\text{дв.н}} = 6,5 ; \quad M_{\text{дв.н}} = 108,3 \text{ Н} \cdot \text{м} ; \quad M_K = 270,7 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_K / M_{\text{дв.н}} = 2,5 ; \quad M_{\text{дв.пуск}} = 205,7 \text{ Н} \cdot \text{м} ; \quad M_{\text{дв.пуск}} / M_{\text{дв.н}} = 1,899$$

Сравнения параметров расчётных характеристик со справочными параметрами двигателя показывают соответствие условиям для их характерных

точек $M_{\text{эм.н}} > M_{\text{дв.н}}$, $M_{\text{эм.к}} > M_{\text{к}}$. Условие $M_{\text{эм.пуск}} > M_{\text{дв.пуск}}$ не выполняется, поэтому часть характеристики $\omega(M)$ показана пунктиром.

2.4 Выбор типа преобразователя и расчет параметров структурной схемы двигателя

Для регулируемого асинхронного электропривода подъема мостового крана используем преобразователь серии Mitsubishi FR-F740-00250 [13], параметры которого приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры преобразователя частоты Mitsubishi

Модель	Число фаз на входе	$U_{\text{н}}$, В	$I_{\text{и.н}}$, А	$I_{\text{и.макс}}$, А	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт
Mitsubishi FR-F740-00250	3	380	25	30	11

Общие технические данные преобразователя частоты Mitsubishi:

- коэффициент мощности 0,8;
- КПД не менее 0,96;
- выходная частота 0,5÷400 Гц;
- частота ШИМ 0,7÷14,5 кГц, (принимается 10 кГц).

Способ управления – векторный.

К электроприводам механизмов подъема мостовых кранов предъявляются наиболее жесткие требования, поэтому был выбран векторный способ управления. Использование преобразователя частоты с векторным управлением позволит повысить скорость перемещения и точность останова груза, за счет ограничения рывка и ускорения обеспечить отсутствие ощутимых толчков при старте и останове, увеличить срок службы основных механических узлов – тяговых тросов, тормозных колодок, редукторов, подвески противовеса.

Эквивалентные индуктивности обмоток статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,002823 + 0,063 = 0,066 \text{ Гн}; \quad (2.39)$$

ротора, приведённой к цепи статора:

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0,003773 + 0,063 = 0,067 \text{ Гн}; \quad (2.40)$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 - \frac{0,063^2}{0,066 \cdot 0,067} = 0,096. \quad (2.41)$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L'^2_2} = 0,339 + 0,328 \cdot \frac{0,063^2}{0,067^2} = 0,632 \text{ Ом}. \quad (2.42)$$

Электромагнитные постоянные времени цепи статора и ротора:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,096 \cdot 0,066}{0,632} = 0,01 \text{ с}. \quad (2.43)$$

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0,067}{0,328} = 0,205 \text{ с}. \quad (2.44)$$

2.5 Расчет характеристик двигателя при векторном управлении и проверка выбора двигателя и преобразователя

В плоскости механической характеристики $\omega(M)$ рисунка 2.4 рассчитаны и построены:

1. Характеристика электромагнитного номинального момента $M_{\text{эм.н}} = 115,14 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

2. Характеристика статического момента максимальной нагрузки $M_{\text{с эм.макс}}(\omega) = M_{\text{с макс}}(\omega) + \Delta M_{\text{с дв}}$, где,

$$M_{\text{с макс}} = M_{\text{гр.макс}} = (1 + a + b) \left(\frac{m_{\text{г}} \cdot g}{\alpha} \cdot R_{\text{г}} \right) \frac{1}{i_{\text{ред}}}, \quad (2.45)$$

где $a = b = \frac{1 - \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{ред}}}{2 \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{ред}}}$ - коэффициенты постоянных (a) и переменных

(b) потерь механизма, $\eta_{\text{пер}} = 0,96; \eta_{\text{ред}} = 0,98$.

$m_{\text{гр}} = 10 \cdot 10^3 \text{ кг}$ - масса груза;

$R_6 = 45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - радиус барабана;

$$M_{\text{с макс}} = (1 + 0,031 + 0,031) \left(\frac{10^4 \cdot 9,8}{3} \cdot 45 \cdot 10^{-3} \right) \frac{1}{16} = 98 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{с эм. макс}}(\omega) = 98 + 6,8 = 104,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Характеристика статического момента минимальной нагрузки

$M_{\text{с эм. мин}}(\omega) = M_{\text{с мин}}(\omega) + \Delta M_{\text{с дв}}$, где

$$M_{\text{с мин}}(\omega) = a \cdot \left(\frac{m_{\text{гр}} \cdot g}{\alpha} \cdot R_6 \right) \frac{1}{i_{\text{ред}}}, \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.46)$$

$$M_{\text{с мин}}(\omega) = 0,031 \cdot \left(\frac{10^4 \cdot 9,8}{3} \cdot 45 \cdot 10^{-3} \right) \frac{1}{16} = 2,8 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{с эм. мин}}(\omega) = 2,8 + 6,8 = 9,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Зависимость длительно допустимого момента электродвигателя

$M_{\text{эм. длит. доп}}(\omega)$ по выражению:

$$\begin{cases} M_{\text{эм. длит. доп}}(\omega) = \left(k + (1 - k) \cdot \frac{2 \cdot \omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right) \cdot M_{\text{эм.н}} & \text{при } 0 < \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}; \\ M_{\text{эм. длит. доп}}(\omega) = M_{\text{эм.н}} = 115,14 \text{ Н} \cdot \text{м}, & \text{при } 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}} < \omega \leq \omega_{\text{дв.н}}. \end{cases}$$

где $k = 0,95$ – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя при неподвижном роторе.

5. Значение $M_{\text{эп. макс}}$ соответствующее максимальному току электропривода $I_{\text{эп. макс}}$. Для этого на естественной электромеханической характеристике определено соответствующее $I_{\text{эп. макс}} = I_{\text{и. макс}}$ значение скольжения

$$s_{T.1} = \frac{\omega_0 - \omega_{T.1}}{\omega_0} = \frac{104,7 - 100,43}{104,7} = 0,041 \text{ и при этом скольжении}$$

найден значение максимального электромагнитного момента

$$M_{\text{эм.макс}} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{T.2} \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{T.2}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{T.2} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,328}{104,72 \cdot 0,041 \cdot \left[(2,112)^2 + \left(0,339 + \frac{0,328}{0,041} \right)^2 + \left(\frac{0,339 \cdot 0,328}{0,041 \cdot 19,925} \right)^2 \right]} = 149,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

В плоскости электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ рисунка 6 рассчитаны и построены:

1. Зависимость максимальной нагрузки:

$$I_{\text{с макс}}(\omega) = \sqrt{\left(\frac{M_{\text{с эм.макс}}(\omega)}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot \sqrt{2}} \right)^2} + I_0^2 =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{104,8}{\frac{3}{2} \cdot \frac{0,063}{0,067} \cdot 3 \cdot 0,909 \cdot \sqrt{2}} \right)^2} + 10,56 = 21,9 \text{ А.} \quad (2.47)$$

где при $\omega \leq \omega_{\text{дв.н}}$ $\Psi_{2d} = \Psi_{2H}$;

2. Зависимость от скорости длительно допустимого тока электродвигателя

$$I_{1\Phi \text{ длит. доп}}(\omega) = \begin{cases} I_{1\Phi H} \cdot \left[k + (1-k) \cdot \frac{2 \cdot \omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right] & \text{при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}; \\ I_{1\Phi H} & \text{при } \omega > 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}; \end{cases}$$

3. Номинального тока инвертора $I_{\text{и.н}} = 25 \text{ А};$

4. Максимального тока инвертора $I_{\text{и.макс}} = 30 \text{ А};$

5. Выбранного кратковременно допустимого (максимального) тока двигателя в пуско-тормозных режимах

$$I_{1\Phi \text{ кратк. доп}}(\omega) \leq I_{\text{и. макс}}$$

или соответствующего значению выбранного выше кратковременно допустимого (максимального) электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.кратк.доп}}(\omega)$

$$I_{1\text{ф.кратк.доп}}(\omega) = I_{\text{эп.макс}}(\omega) = \sqrt{\left(\frac{M_{\text{эм.кратк.доп}}(\omega)}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot \sqrt{2}} \right)^2} + I_0^2 =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{149,65}{\frac{3}{2} \cdot \frac{0,063}{0,067} \cdot 3 \cdot 0,909 \cdot \sqrt{2}} \right)^2} + 10,56 = 29,363 \text{ A.} \quad (2.48)$$

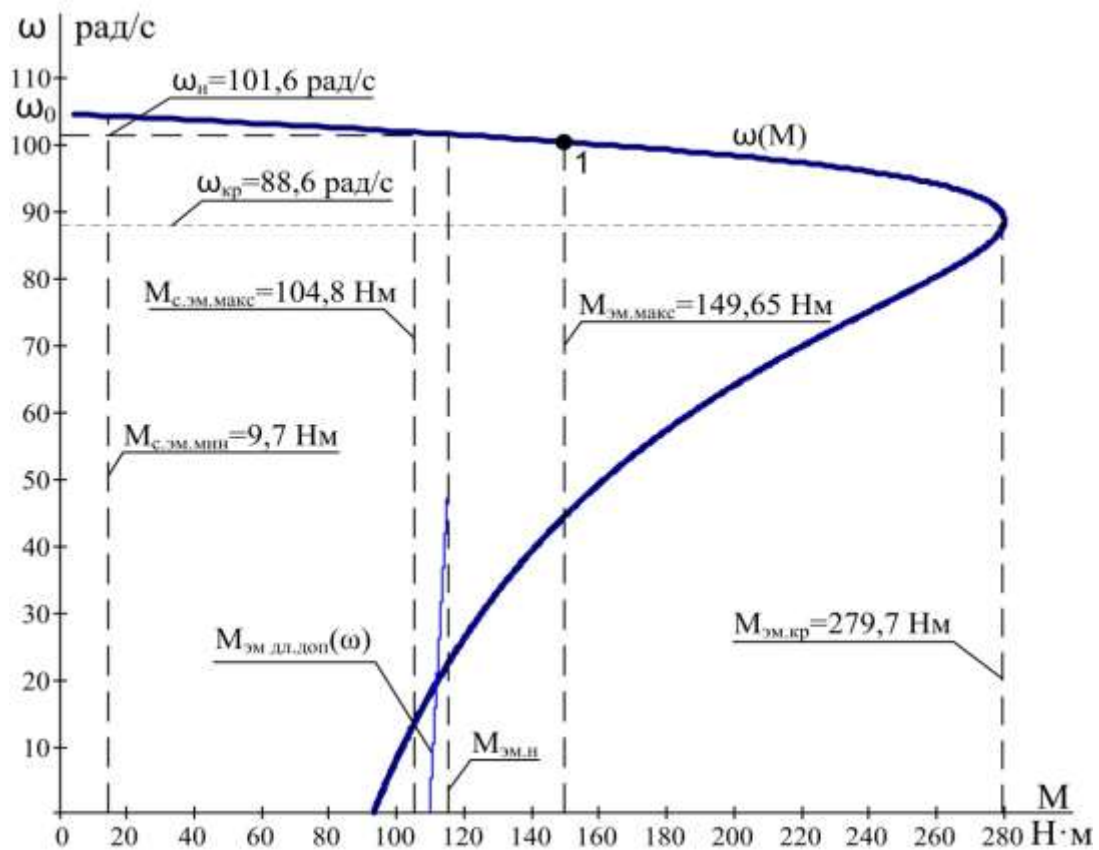


Рисунок 6 – Механическая характеристика электропривода и нагрузки $\omega(M)$ при векторном управлении

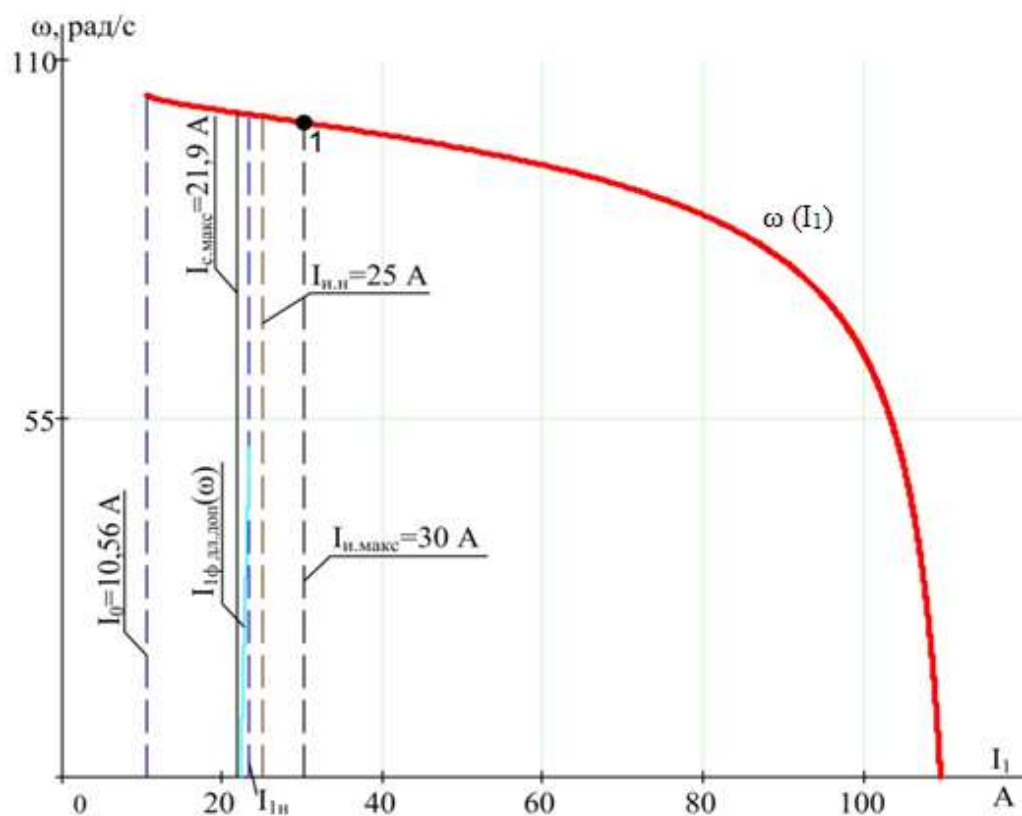


Рисунок 7 – Электромеханическая характеристика электропривода $\omega(I_1)$ и нагрузки при векторном управлении

Анализ приведенных на рисунке 2.4 механической характеристики электропривода $\omega(M)$ и нагрузки $M(\omega)$ показывает, что во всем диапазоне регулирования скорости выполняются условия:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) &\geq M_{\text{с.макс}} \\ M_{\text{дв.макс}}(\omega) &\geq M_{\text{эл.макс}} \end{aligned} \right\},$$

следовательно, двигатель по моменту выбран правильно.

По результатам построения электромеханических характеристик электропривода $\omega(I_1)$ (рисунок 2.5) во всем диапазоне регулирования скорости имеем:

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}},$$

что подтверждает правильность выбора двигателя по току.

На рисунке 2.5 в плоскости электромеханических характеристик построены характеристики, соответствующие номинальному и максимально допустимому току преобразователя: $I_{\text{н.н}} = 25 \text{ A}$, $I_{\text{н.макс}} = 30 \text{ A}$. Из рисунка видно, что условие

$I_{И.Н.} \geq I_{с. макс}$ выполняется, следовательно преобразователь по току выбран правильно.

2.6 Выбор напряжения питающей сети асинхронного электропривода с векторным управлением

Поскольку жесткость статических характеристик разомкнутой системы преобразователь – двигатель оказывается меньше жесткости естественных характеристик двигателя, то, очевидно, что необходимо иметь некоторый запас по напряжению питающей сети для обеспечения требуемой максимальной рабочей скорости электропривода и его быстродействия.

Напряжение питающей сети выбираем из следующего условия:

– при скорости двигателя $\omega^* = \omega_{эл. макс}$ преобразователь должен обеспечивать ток $I_{1ф}^* \geq I_{с макс}$ (максимальное быстродействие электропривода достигается при выполнении условия $I_{1ф}^* \geq I_{1ф макс}$).

При выбранных значениях максимальной скорости ω^* и тока $I_{1ф}^*$ рассчитаны требуемые значения:

– составляющей тока I_{1q} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q :

$$I_{1q}^* = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(I_{1ф}^*)^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{21,9^2 - 10,56^2} = 27,13 \text{ А}; \quad (2.49)$$

– частоты питающего напряжения:

$$\begin{aligned} f_1^* &= \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\omega^* \cdot z_p + R_2' \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot \frac{I_{1q}^*}{\Psi_{2н}} \right) = \\ &= \frac{1}{2\pi} \cdot \left(101,6 \cdot 3 + 0,328 \cdot \frac{0,063}{0,067} \cdot \frac{27,13}{0,909} \right) = 49,97 \text{ Гц}; \end{aligned} \quad (2.50)$$

– составляющей напряжения U_{1d} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q :

$$U_{1d}^* = \left(\frac{R_{1\varnothing}}{L_m} - R_2' \cdot \frac{L_m}{L_2'^2} \right) \cdot \Psi_{2H} - 2\pi \cdot f_1^* \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}^*, B \quad (2.51)$$

$$U_{1d}^* = \left(\frac{0,632}{0,063} - 0,328 \cdot \frac{0,063}{0,067^2} \right) \cdot 0,909 - 2\pi \cdot 49,97 \cdot 0,096 \cdot 0,066 \cdot 27,13 = -49,52 B;$$

– составляющей напряжения U_{1q} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q :

$$U_{1q}^* = 2\pi \cdot f_1^* \cdot \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \cdot \Psi_{2H} + \frac{L_m}{L_2'} \cdot \Psi_{2H} \cdot z_p \cdot \omega^* + R_{1\varnothing} \cdot I_{1q}^*, B \quad (2.52)$$

$$U_{1q}^* = 2\pi \cdot 49,97 \cdot \frac{0,096 \cdot 0,066}{0,063} \cdot 0,909 + \frac{0,063}{0,067} \cdot 0,909 \cdot 3 \cdot 101,6 + 0,632 \cdot 27,13 = 307,456 B;$$

– фазного напряжения трехфазного двигателя:

$$U_{1\Phi}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(U_{1d}^*)^2 + (U_{1q}^*)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(-49,52)^2 + (307,456)^2} = 220,2 B; \quad (2.53)$$

– напряжения звена постоянного тока преобразователя:

$$U_d^* = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1\Phi}^* = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot 220,2 = 539,39 B; \quad (2.54)$$

– напряжения питающей сети:

$$U_c^* = \frac{U_d^*}{1,35} = \frac{539,39}{1,35} = 399,5 B. \quad (2.55)$$

2.7 Имитационная модель электрической части силового канала

Пример реализации имитационной модели следящего асинхронного электропривода с векторным управлением, учитывающий квантование сигналов обратных связей по уровню и времени и сигналов управления по времени, приведен на рисунке 2.6.

Имитационная модель асинхронного электропривода с векторным управлением состоит из следующих функциональных элементов:

– источник трехфазного переменного тока неограниченной мощности;

- реактор на стороне питающей сети;
- неуправляемый диодный выпрямитель;
- конденсатор в звене постоянного тока;
- инвертор напряжения на *IGBT* транзисторах;
- модели асинхронного двигателя;
- цепь разряда конденсатора, состоящая из тормозного резистора и транзисторного ключа.

Система управления электропривода реализована как многоконтурная система регулирования и включает в себя модели:

- контура регулирования тока I_{1d} с ПИ-регулятором;
- контура регулирования тока I_{1q} с ПИ-регулятором;
- контура регулирования скорости (рисунок 8) двигателя $\omega_{\text{дв}}$ с ПИ-регулятором;
- контура регулирования потокосцепления ротора (рисунок 2.8) Ψ_{2d} с ПИ-регулятором;
- преобразователей координат управляющих напряжений;
- формирователя регулируемых координат привода в общем случае с датчиками токов, потоков и скорости двигателя.

В данном случае принята модель двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат d, q . Предполагается, что токи I_{1d} , I_{1q} и потокосцепление ротора Ψ_{2d} измеряются аналоговыми датчиками, а затем аналоговый сигнал оцифровывается с помощью АЦП. Скорость вращения двигателя может измеряться с помощью аналогового датчика скорости, установленного на валу двигателя, а положение исполнительного органа механизма — импульсным датчиком, установленным на выходном валу механизма.

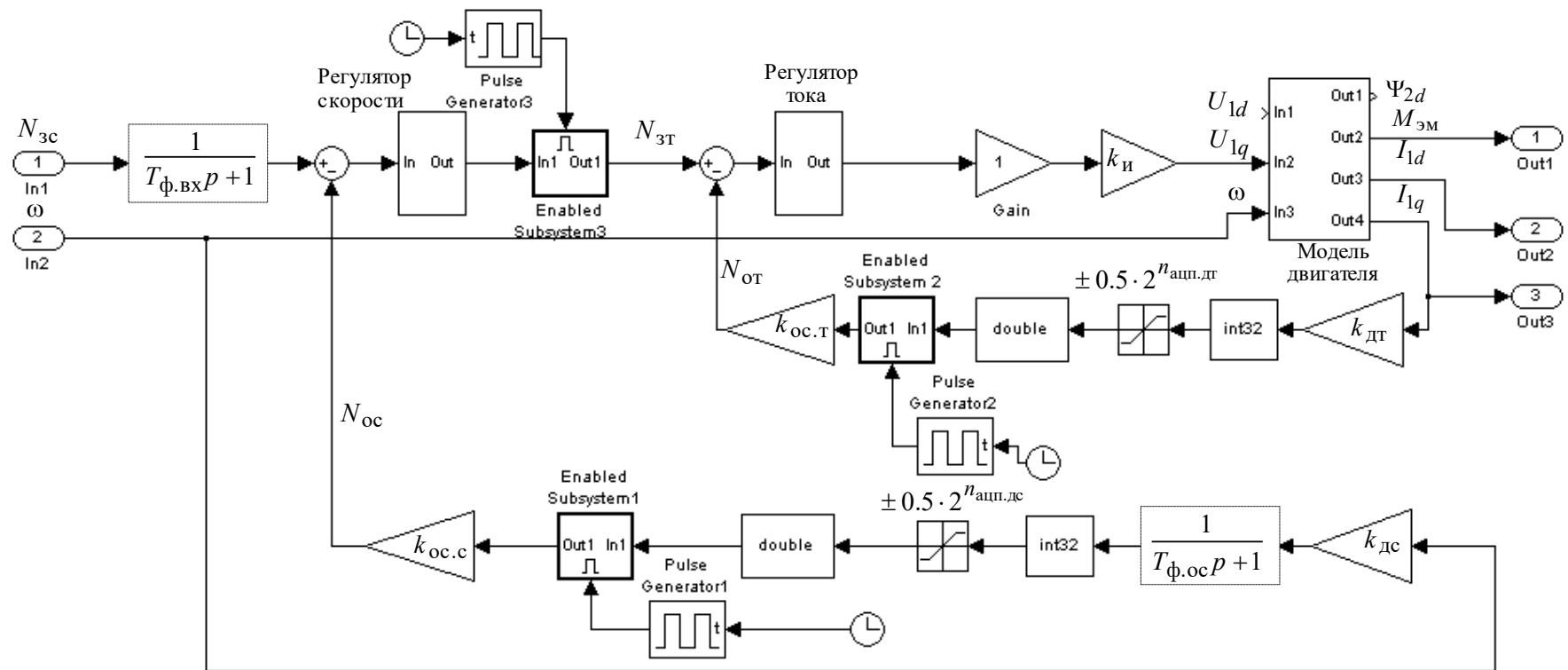


Рисунок 9 – Имитационная модель контура скорости с аналоговым датчиком и внутренним контуром тока I_{1q}

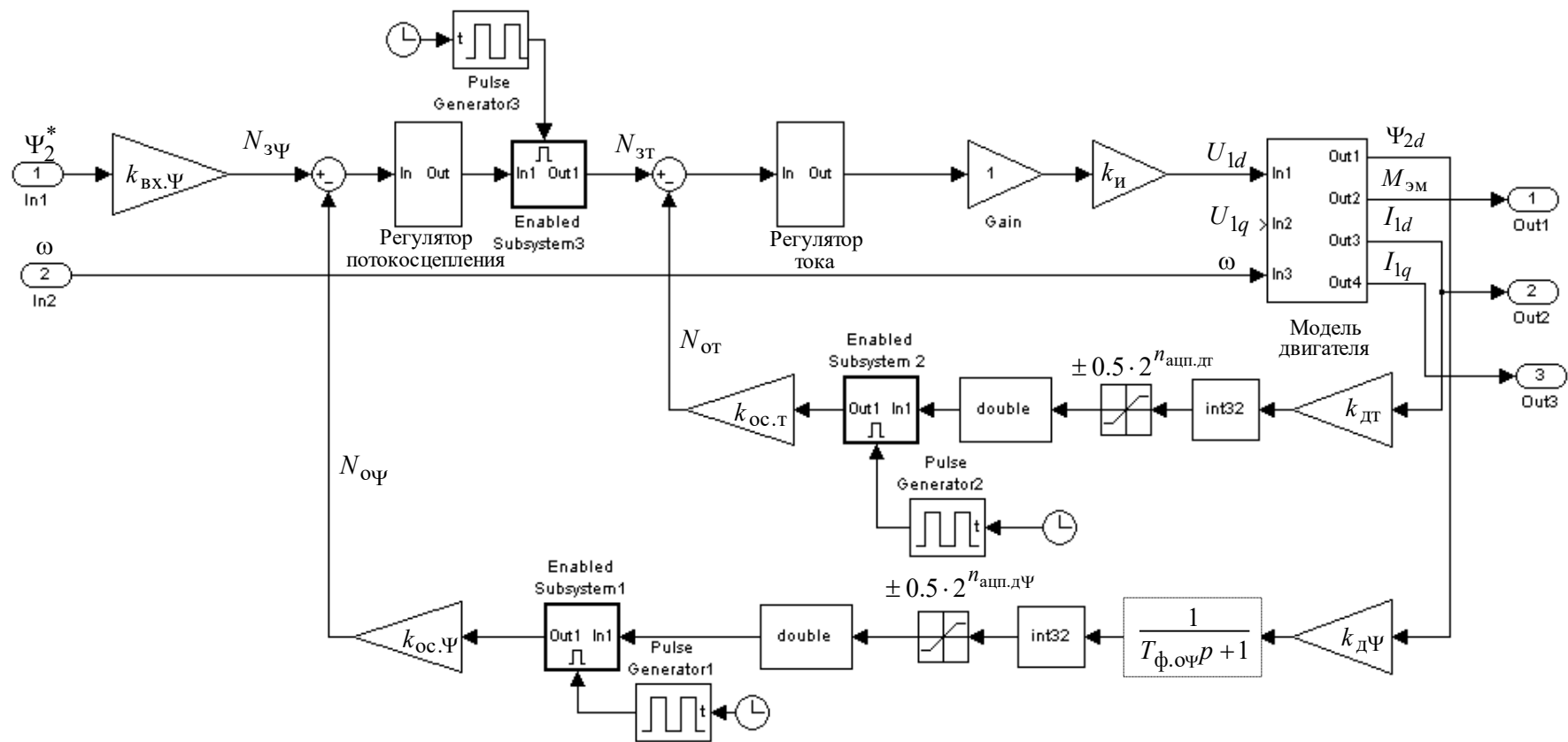


Рисунок 10 – Имитационная модель контура потокосцепления с внутренним контуром тока I_{1d}

2.8 Методика настройки контуров регулирования САУ асинхронного электропривода

В многоконтурной системе управления подчиненного регулирования электропривода регуляторы включены последовательно. Расчет управлений начинается с внешнего контура. Регулятор контура рассчитывает управление после того, как будут определены сигнал задания на входе контура N_{zi} и сигнал обратной связи N_{oi} . Сигнал обратной связи рассчитывается и остается постоянным на интервале квантования сигнала $T_{oc.i}$ в цепи обратной связи. Выходной сигнал регулятора рассчитывается и остается постоянным на интервале квантования сигнала $T_{пк.i}$ в прямом канале контура. Рассчитанное регулятором тока управление подается на ключи инвертора только на следующем интервале ШИМ, т.е. с временной задержкой $T_{зу.и} = T_{шим}$. Наибольшее быстродействие электропривода достигается при максимальном быстродействии внутреннего контура тока I_{1q} .

В простейшем случае без учета ШИМ инвертор представляет собой линейный усилитель с чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции $T_{шим}$

$$T_{и} = T_{шим} = \frac{1}{f_{шим}} = \frac{1}{10000} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}, \quad (2.56)$$

где $f_{шим} = 10000$ Гц – несущая частота инвертора (частота ШИМ).

Максимальные значения действующего и амплитудного фазного напряжения двигателя принимаем, соответственно, равными:

$$U_{1фн} = 220 \text{ В}; \quad U_{1фм} = \sqrt{2} \cdot U_{1фн} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,1 \text{ В}.$$

С учетом ШИМ напряжения инвертора и при соединении обмоток статора двигателя в звезду условие согласования напряжения преобразователя и двигателя

$$U_{d0} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1H}}{\gamma_{\max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0,95} = 567,25 \text{ В}, \quad (2.57)$$

где $\gamma_{\max} < 1$ – максимальное значение коэффициента относительной продолжительности включения ключей инвертора, примем $\gamma_{\max} = 0,95$ о.е.,

тогда требуемое значение линейного напряжения источника питания преобразователя

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1,35} = \frac{567,25}{1,35 \div 1,41} = 401 \div 420 \text{ В}; \quad (2.58)$$

Принимаем коэффициент усиления инвертора

$$k_{\text{И}} = \frac{U_{\text{д}}^*}{\sqrt{3}} = \frac{539,39}{\sqrt{3}} = 311,419. \quad (2.59)$$

2.8.1 Контур тока с ПИ-регулятором и датчиком тока

Контуры токов I_{1d} и I_{1q} реализованы по одной схеме и имеют одинаковые параметры. Аналоговые сигналы с первичных преобразователей тока двух фаз обмотки статора преобразуются с помощью АЦП в цифровые сигналы. В цепи измерения токов могут быть установлены аналоговые сглаживающие фильтры.

Параметры элементов контура тока:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}}{\sigma_{\text{т}} \cdot (\sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}})} = \frac{0,5 \cdot 4096}{1,2 \cdot (\sqrt{2} \cdot 29,36)} = 41 \text{ 1/А}, \quad (2.60)$$

где $\sigma_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование тока, принято $\sigma_{\text{т}} = 1,2$;

$n_{\text{ацп. дт}} = 12$ – разрядность АЦП датчика тока преобразователя;

Интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока

$$T_{\text{ос.т}} = n_{\text{ос.т}} \cdot T_{\text{шим}} = 1 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}, \quad (2.61)$$

где $n_{\text{ос.т}} \geq 1$ – количество периодов модуляции для измерения тока, при частоте, принято $n_{\text{ос.т}} = 1$;

$T_{\text{пк.т}} \leq T_{\text{ос.т}}$ – интервал квантования управления в прямом канале контура тока, с;

$T_{\text{зу.и}} = T_{\text{шим}} = 1 \cdot 10^{-4}$ с – интервал времени задержки подачи управления от регулятора тока к ключам инвертора;

$T_{\text{ф.от}}$ – постоянная времени аналогового фильтра в цепи измерения тока, $T_{\text{ф.от}} = 0$ т.к. фильтр отсутствует;

$N_{\text{зт.макс}}$ – максимальное значение задания на входе контура тока, соответствующее максимальному значению тока электропривода $I_{\text{эп.макс}}$, в относительных единицах

$$N_{\text{зт.макс}} = \frac{1}{\sigma_{\text{т}}} = \frac{1}{1,2} = 0,833. \quad (2.62)$$

Расчетные параметры настройки контура тока:

Передаточная функция ПИ-регулятора тока:

$$W(p)_{\text{рт}} = k_{\text{рт}} \cdot \frac{T_{\text{рт}} \cdot p + 1}{T_{\text{рт}} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора:

постоянная времени регулятора тока:

$$T_{\text{рт}} = T_{1\text{э}} = 0,01 \text{ с};$$

коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{1\text{э}} \cdot R_{1\text{э}}}{k_{\text{и}} \cdot k_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{тэ}}} = \frac{0,01 \cdot 0,632}{311,419 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} = 3,4 \quad (2.63)$$

где

$$k_{\text{т}} = \frac{N_{\text{зт.макс}}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}}} = \frac{1}{\sigma_{\text{т}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}}} = \frac{1}{1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 29,36} = 0,02 \text{ 1/А}, \quad (2.64)$$

– коэффициент обратной связи по току;

$$T_{\mu\tau\theta} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_T} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{2} + 1 \cdot 10^{-4} + 0 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (2.65)$$

– малая постоянная времени оптимизированного контура тока;

$n_T = 1 \div 3$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном, принят $n_T = 2$ – настройка контура тока близка к типовой настройке на МО ($\sigma < 5\%$);

$a_T = 2$ – коэффициент типовой настройки контура тока на модульный оптимум (МО).

Достигнуто максимальное быстродействие контура тока, т.к. $T_{\text{ос.т}} = T_{\text{пк.т}} = T_{\text{шим}}$.

Для ограничения управления инвертором на заданном уровне $\gamma_{\text{макс}}$ значения выходных сигналов регуляторов токов I_{1d} и I_{1q} должны удовлетворять условию

$$\gamma_{\text{макс}}^2 = N_{\text{рtd}}^2 + N_{\text{ртq}}^2.$$

В качестве приоритетного выбрано текущее значение выходного сигнала регулятора I_{1d} , тогда допустимое значение его выходного сигнала ограничивается на постоянном уровне

$$N_{\text{рtd доп}} = \gamma_{\text{макс}} = 0,95,$$

а допустимое значение выходного сигнала регулятора тока I_{1q} в процессе работы ограничено в соответствии с условием:

$$N_{\text{ртq доп}} = \sqrt{\gamma_{\text{макс}}^2 - N_{\text{рtd}}^2}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура тока

$$k_{\text{ос.т}} = \frac{k_T}{k_{\text{дт}}} = \frac{8,503 \cdot 10^{-3}}{17,414} = 4,883 \cdot 10^{-4}. \quad (2.66)$$

2.8.2 Контур скорости с ПИ-регулятором и датчиком скорости

Имитационная модель контура скорости с аналоговым датчиком приведена на рисунке 2.7. Аналоговый сигнал с аналогового датчика скорости (например, тахогенератора постоянного тока) преобразуется с помощью АЦП в цифровой сигнал. В состав аналогового датчика скорости может быть включен аналоговый фильтр.

Внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{т.зам}} \approx \frac{1}{T_{\text{т}} \cdot p + 1},$$

где

$$T_{\text{т}} = a_{\text{т}} \cdot T_{\text{мтэ}} = 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (2.67)$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Параметры элементов контура скорости с аналоговым датчиком:

$n_{\text{ацп. дс}} = 14$ – разрядность АЦП датчика скорости;

$$k_{\text{дс}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп. дс}}}}{\sigma_{\text{с}} \cdot \omega_{\text{эл. макс}}} = \frac{8192}{1,5521 \cdot 101,5} = 52 \quad (2.68)$$

– коэффициент передачи датчика скорости, с/рад;

где $\sigma_{\text{с}} = 1,5521$ – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование скорости;

$T_{\text{ос.с}} = 1/1000 \text{ с}$ – интервал квантования по времени сигналов в цепи обратной связи контура скорости;

$$N_{\text{зс. макс}} = \frac{1}{\sigma_{\text{с}}} = \frac{1}{1,5521} = 0,644 \quad (2.69)$$

– максимальное значение задания на входе контура скорости, соответствующее значению максимальной скорости привода $n_{\text{эл. макс}}$.

Расчетные параметры настройки контура скорости с аналоговым датчиком:

Передаточная функция регулятора скорости:

– ПИ-регулятора

$$W(p)_{\text{pc}} = k_{\text{pc}} \cdot \frac{T_{\text{pc}} p + 1}{T_{\text{pc}} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора скорости:

– постоянная времени регулятора

$$T_{\text{pc}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\text{мсэ}} = 2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (2.70)$$

– коэффициент усиления регулятора

$$k_{\text{pc}} = \frac{J_{\text{э}} \cdot k_{\text{т}}}{c_{\text{м}} \cdot k_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}}} = \frac{0,51 \cdot 0,02}{4 \cdot 6,348 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 250,27 \quad (2.71)$$

где

$$c_{\text{м}} = \Psi_{2\text{н}} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\text{м}}}{L'_2} \cdot z_{\text{р}} = 0,948 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,063}{0,067} \cdot 3 = 4 \quad (2.72)$$

– коэффициент электромагнитного момента двухфазного двигателя во вращающейся системе координат при номинальном потоке;

$$k_{\text{с}} = \frac{N_{\text{эс.макс}}}{\omega_{\text{эл.макс}}} = \frac{0,644}{101,5} = 6,348 \cdot 10^{-3} \text{ с / рад} \quad (2.73)$$

– коэффициент обратной связи по скорости;

$$T_{\text{мсэ}} = T_{\text{т}} + \frac{T_{\text{ос.с}}}{n_{\text{с}}} + T_{\text{ф.ос}} = 3 \cdot 10^{-4} + \frac{10^{-3}}{2} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (2.74)$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости;

$n_{\text{с}} = 2$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном;

$b_{\text{с}} = a_{\text{с}} = 2$ – коэффициенты типовой настройки контура скорости на симметричный оптимум с ПИ-регулятором.

Для ограничения тока двигателя на заданном уровне $I_{1\text{макс}}$ значения выходных сигналов регуляторов потокосцепления и скорости в общем случае должны удовлетворять условию

$$N_{\text{эт. макс}}^2 = N_{\text{р}\Psi}^2 + N_{\text{рс}}^2.$$

В качестве приоритетного следует выбрать текущее значение выходного сигнала регулятора потокосцепления, тогда допустимое значение выходного сигнала регулятора скорости в процессе работы должно поддерживаться в соответствии с условием:

$$N_{\text{рс. доп}} = \sqrt{N_{\text{эт. макс}}^2 - N_{\text{р}\Psi}^2} = \sqrt{0,644^2 - N_{\text{р}\Psi}^2}.$$

Коэффициент согласования сигналов датчика обратной связи и задания на входе контура скорости:

$$k_{\text{ос.с}} = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{дс}}} = 1,221 \cdot 10^{-4}. \quad (2.75)$$

2.8.3 Контур потокосцепления ротора с ПИ-регулятором и датчиком потока

Имитационная модель контура потокосцепления с аналоговым датчиком приведена на рисунке 2.8. Аналоговый сигнал с аналогового датчика потока преобразуется с помощью АЦП в цифровой сигнал. В состав аналогового датчика потока может быть включен аналоговый фильтр.

Внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{т.зам}} \approx \frac{1}{T_{\text{т}} \cdot p + 1},$$

где

$T_{\text{т}} = a_{\text{т}} \cdot T_{\text{мтэ}}$ – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Параметры элементов контура потокосцепления с аналоговым датчиком:

$n_{\text{ацп.д}\Psi}$ – разрядность АЦП датчика потока;

$$k_{\text{д}\Psi} = \frac{0.5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.д}\Psi}}}{\sigma_{\Psi} \cdot \Psi_{2\text{н}}} = \frac{2048}{1,1 \cdot 0,909} = 2048 \quad (2.76)$$

– коэффициент передачи датчика потока, 1/Вб,

где $\sigma_\Psi = 1,1$ – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование потока;

$T_{oc.\Psi} = 10^{-3} \text{ с}$ – интервал квантования по времени сигналов в цепи обратной связи контура потокосцепления;

$$N_{\Psi_{2H}.\text{макс}} = \frac{1}{\sigma_\Psi} = \frac{1}{1,1} = 0,909 \quad (2.77)$$

– максимальное значение задания на входе контура потокосцепления, соответствующее номинальному потокосцеплению ротора двигателя Ψ_{2H} .

Расчетные параметры настройки контура потокосцепления с аналоговым датчиком:

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора потокосцепления ротора:

– постоянная времени регулятора

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0,205 \text{ с};$$

– коэффициент усиления регулятора

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi \cdot a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi_3}} = \frac{0,205 \cdot 0,02}{0,063 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 24,912 \quad (2.78)$$

где

$$k_\Psi = \frac{N_{\Psi_{2H}.\text{макс}}}{\Psi_{2H}} = \frac{0,909}{0,909} = 1 \frac{1}{\text{Вб}} \quad (2.79)$$

– коэффициент обратной связи по потоку;

$$T_{\mu\Psi_3} = T_T + \frac{T_{oc.\Psi}}{n_\Psi} + T_{\phi.o\Psi} = 3 \cdot 10^{-4} + \frac{10^{-3}}{1} + 0 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (2.80)$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости;

$n_{\Psi} = 1$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном;

$a_{\Psi} = 2$ – коэффициент типовой настройки контура потокосцепления на модульный оптимум.

Коэффициент согласования выходного сигнала датчика потока и задания на входе контура потокосцепления

$$k_{\text{ос.}\Psi} = \frac{k_{\Psi}}{k_{\text{д}\Psi}} = 4,883 \cdot 10^{-4}. \quad (2.81)$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потокосцепления ротора ограничивается на постоянном уровне

$$N_{\text{р}\Psi \text{ доп}} = N_{\text{эт. макс}} = 0,833.$$

2.9 Исследования имитационной модели электропривода подъема мостового крана с учетом крановой нагрузки

На рисунке 11 представлена модель электропривода механизма подъема в среде MATLAB SIMULINK.

На рисунке 12 представлен пуск асинхронного двигателя без нагрузки на номинальную скорость $\omega_{\text{дв.ном}} = 101,5 \text{ рад/с}$, а затем наброс нагрузки в момент времени $t=0,5 \text{ сек}$ $M_{\text{нагр}} = 108 \text{ Нм}$. Из графиков видно пусковые параметры двигателя: $M_{\text{эп.макс}} = 149,5 \text{ Нм}$, $I_{\text{эп.макс}} = 29,3 \text{ А}$; параметры двигателя при работе без нагрузки на заданной скорости $\omega_{\text{зад}} = 101,5 \text{ рад/с}$ при $I_0 = 10 \text{ А}$ и параметры нагруженного двигателя. В момент нагрузки из графика видно что скорость незначительно уменьшается, но затем она достигает своего заданного значения $\omega_{\text{зад}} = 101,5 \text{ рад/с}$. При этом ток соответствует расчетному значению номинального тока двигателя $I_{\text{ф.ном}} = 23,3 \text{ А}$.

Данные переходные характеристики $\omega = f(t)$, $M = f(t)$ и $I = f(t)$ позволяют утверждать, что все три контура регулирования рассчитаны и настроены верно, т.к. на представленных графиках не наблюдается перерегулирований, превышающих допустимых значений, выполняется точная отработка задающих воздействий, а так же все значения скоростей, токов и моментов совпадают с расчетными.

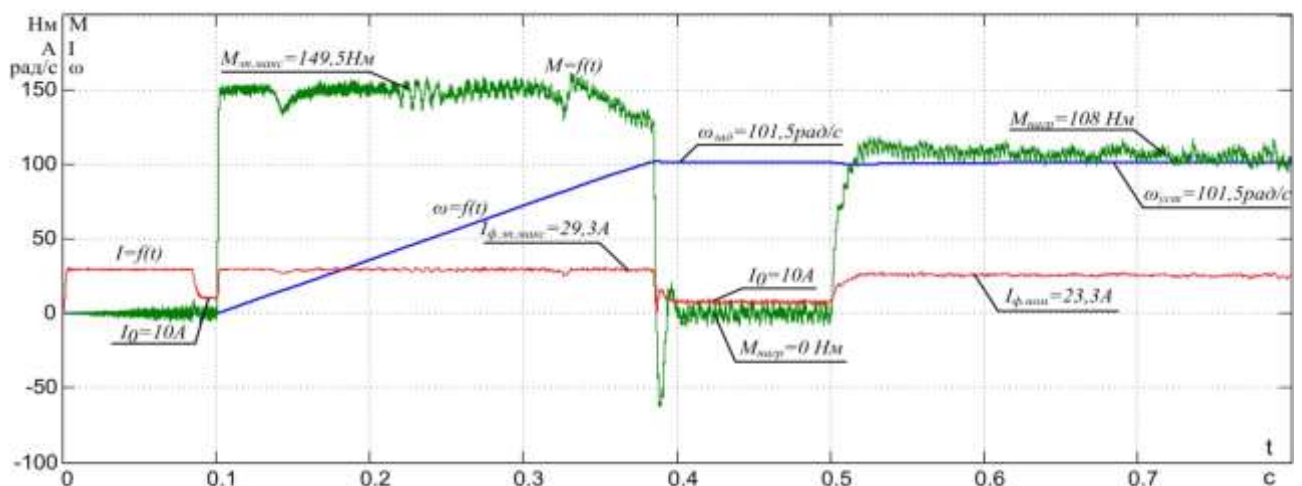


Рисунок 12 – Диаграммы электромагнитного момента $M_{\text{эм}}(t)$, скорости вращения $\omega(t)$ и фазного тока $i_{\text{ф}}(t)$ двигателя

На рисунке 4.2 представлены переходные характеристики скорости вращения ротора $\omega(t)$ двигателя при задании на скорость $\omega_{\text{зад1}} = 101,5 \text{ рад/с}$ и $\omega_{\text{зад2}} = 1,01 \text{ рад/с}$.

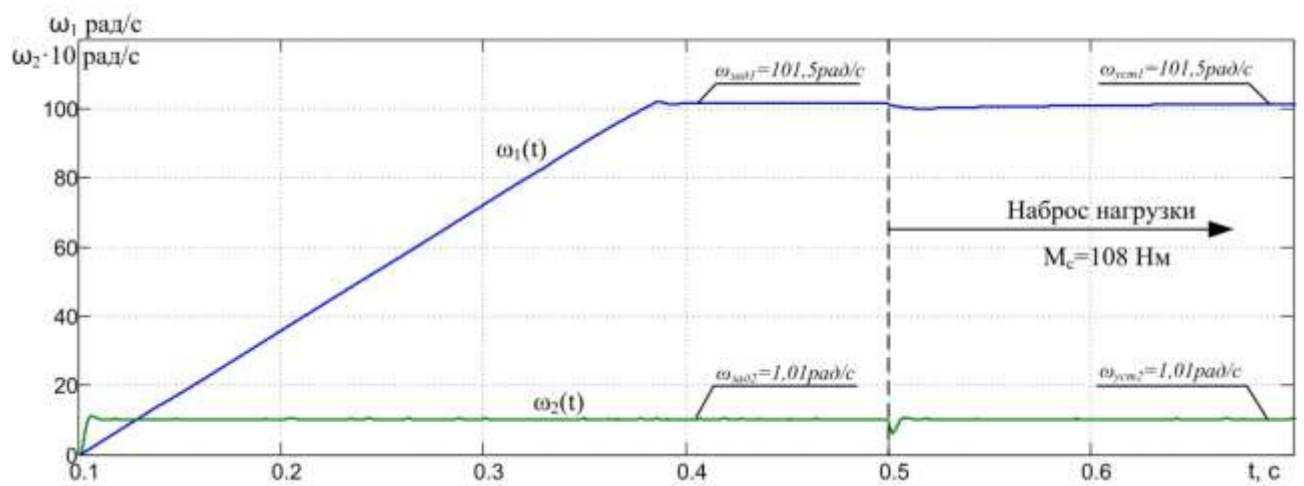


Рисунок 13 – Переходные характеристики скорости вращения ротора $\omega(t)$ двигателя при различных заданиях скорости

Из графика, представленного на рисунке 13, вычислим диапазон регулирования скорости:

$$D = \frac{\omega_{зад1}}{\omega_{зад2}} = \frac{101,5}{1,01} = 100,5.$$

Диапазон регулирования соответствует требованиям, заявленным в техническом задании.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
3-5Г5Б1		Гимранов Руслан Робертович	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электрооборудование и электропривод механизма подъема крана	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электропривод мостового крана. Кран применяется для транспортировки различных грузов в разных промышленных отраслях и предприятиях
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным ЭВМ и организации работы;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – Недостаточная освещенность рабочей зоны – Превышение уровня шума – Отклонение показателей микроклимата – Поражение электрическим током – Повышенный уровень электромагнитных излучений – Повышенный уровень вибрации
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Выбор и описание возможных ЧС: - основные причины возникновения ЧС

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Гимранов Руслан Робертович		

3 Социальная ответственность

Введение

В данном дипломном проекте проектируется электропривод переменного тока механизма подъема крана.

Краны являются одним из видов грузоподъемных сооружений, циклического действия. Бывают мостовыми, козловыми, башенными, порталными, плавучими и т.д. Предназначены для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, перемещаются по рельсовым путям, расположенным на значительной высоте от пола (мостовые краны), либо наземные (козловые).

Кран состоит из грузоподъемной тележки, включающей механизм подъема, грузозахватное устройство, механизм передвижения, и из моста, представляющего собой две сплошные (или решетчатые) фермы, присоединенные к концевым балкам, в которые вмонтированы приводные и не приводные колеса. Механизм передвижения моста и имеет привод от одного или двух двигателей.

Рабочим местом машиниста мостового электрического крана является кабина управления краном. Правильная, научно обоснованная организация рабочего места, учитывающая физиологические особенности организма человека и конкретные условия эксплуатации крана, способствует повышению производительности труда машиниста. Поэтому при организации рабочего места машиниста учитываются эргономические показатели кабины управления оптимальные значения параметров микроклимата, освещенность рабочей площадки и т. п. Конструкция кабины должна обеспечивать хороший обзор любой точки рабочей площадки, защиту машиниста от избыточного тепла, шума и вибраций, электробезопасность, легкость и удобство управления краном (ГОСТ 27584-88) [1].

3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

3.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

До работ на кране допускаются только обученные и аттестованные крановщики не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

При проведении работ в зимнее, то согласно ст 109 ТК РФ крановщик имеет право на перерывы на обогрев, которые входят в рабочее время.

Согласно ст.117 ТК РФ крановщику предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в силу условий труда, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней.

Согласно ст. 329 ТК РФ работникам, труд которых непосредственно связан с управлением транспортными средствами или управлением движением транспортных средств, не разрешается работа по совместительству, непосредственно связанная с управлением транспортными средствами или управлением движением транспортных средств.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны:

Для подъема на рабочее место машиниста на экскаваторе должна быть установлена безопасная лестница с высотой перил от поверхности ступени 850-950 мм.

Дверной проем должен иметь высоту не менее 1900 мм, ширину не менее 650 мм (для исполнения ХЛ - не менее 750 мм) с учетом уплотнения. Запорное устройство и уплотнение должны обеспечивать герметичность и безотказное открывание и закрывание двери.

Кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении, в том числе за счет профилирования спинки и сиденья, а также обеспечивать условия для отдыха.

Кроме того, кабина крановщика должна быть оборудована средствами или устройствами:

- 1) для предотвращения запотевания и обмерзания стекол при температуре наружного воздуха до минус 40 °С, по требованию заказчика для исполнения ХЛ по ГОСТ 15150 - до минус 55 °С;
- 2) для защиты глаз машиниста от прямых солнечных лучей (солнцезащитные козырьки, тонированные стекла и др.);
- 3) для очистки наружной поверхности лобового стекла от загрязнения и атмосферных осадков, обеспечивающими рациональные зоны очистки;
- 4) для установления, регулирования и поддержания комфортных микроклиматических условий;
- 5) для аварийного покидания кабины.

Остекление кабины должно быть устойчивым к механическому воздействию по ГОСТ 5727-88. Окна должны иметь форточки или частично открываться. Стекла по периметру должны иметь вибродемпфирующую прокладку.

3.2. Производственная безопасность

3.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-2015 делятся на следующие группы: физические; химические; психофизиологические; биологические. Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы [2]	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Отладка	Тестирование	
а) Повышенный уровень электромагнитного излучения				<p>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».</p> <p>- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.</p> <p>- СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых,</p>
б) Недостаточная освещённость рабочей зоны				
в) Превышение уровня шума				

d) Отклонение показателей микроклимата				общественных зданий и на территории застройки. - СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
e) Поражение электрическим током				- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. - СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
f) Повышенный уровень вибрации				- СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

При проведении работ, связанных с теоретическим исследованием, важную роль играет планировка рабочего места. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени инженера.

Основным документом, определяющим условия труда на персональных ЭВМ, являются «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Санитарные нормы и правила СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, которые были введены 30 июня 2003 года. В Правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. Исходя из анализа состояния помещения, рабочее место

инженера, занимающегося теоретическими исследованиями, по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности, согласно ПУЭ.

Отклонение показателей микроклимата

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, производимых сидя и не требующих систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в табл. 1.2, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и [4].

Таблица 1.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические лампочки. При длительной работе в

условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли.

По нормативу [2] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Повышенный уровень шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. ПДУ шума для объектов типа аудитории для теоретических разработок нормируются ГОСТ 12.1.003-2014, СанПиН 2.2.4/2.4.1340-03. Значения представлены в табл. 1.4 (для постоянных шумов).

Таблица 1.4 – Значения ПДУ шума

Рабочее место	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука дБА
	1,5	2	2,5	5,0	10	100	100	100	100	8
Конструкторское бюро, программисты, лаборатория	6	1	1	4	9	5	2	0	8	3
										50

Повышенный уровень вибрация

Вибрации при работе мостового крана возникают как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Допустимый уровень вибрации представлен в таблице 1.5. Вертикальные колебания кранового моста имеют диапазон частот 1,5–8,0 Гц. Горизонтальные колебания, которые передаются кабине управления в результате раскачивания груза, – диапазон частот 0,2–1,0 Гц. Учитывая, что резонансная частота колебаний органов человеческого тела находится в диапазоне частот 1 – 15 Гц, машинист подвергается вертикальным колебаниям наиболее неблагоприятного спектра.

Таблица 1.5 – Допустимый уровень вибрации

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
					6	1,5	3	25	50	100	1000
Общая транспортная:											
вертикальная	32	23	14	08	07	07	07				
горизонтальная	22	17	16	16	16	16	16				

При выполнении работ по реконструкции крана уровни шума и вибрации незначительны и удовлетворяют требованиям стандартов.

Поражение электрическим током

Знание допустимых для человека значений тока и напряжения позволяет правильно оценить опасность поражения и определить требования к защитным мерам от поражения электрическим током.

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека. Под напряжением прикосновения понимается напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Нормы предназначены для проектирования способов и средств защиты от поражения электрическим током людей при их взаимодействии с электроустановками. Они соответствуют прохождению тока через тело человека по пути рука - рука или рука - ноги.

Стандарт предусматривает нормы для электроустановок при нормальном (неаварийном) режиме их работы, а также при аварийных режимах производственных и бытовых электроустановок.

Значения напряжения прикосновения и силы тока, протекающего через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки, не должны превышать значений, приведенных в табл. 1.6.

Таблица 1.6 – Предельно допустимые значения напряжения соприкосновения и силы тока

Род и частота тока	Наибольшие допустимые	
	$U_{\text{пр}}, \text{В}$	$I_h, \text{мА}$
Переменный, 50	2	0,3
Переменный, 400	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Для лиц, выполняющих работу в условиях высокой температуры и влажности (относительная влажность больше 75%), эти нормы должны быть уменьшены в три раза.

3.2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

1) Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические лампочки. При длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли.

По нормативу [2] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

2) Повышенный уровень шума на рабочем месте:

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью[20].

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [20]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

3) Повышенный уровень вибрации:

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты, работающих используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

4) отклонение показателей микроклимата:

Работникам, работающим в холодное время года на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-разгрузочных работах, и другим работникам в необходимых случаях предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время. Работодатель обязан обеспечить оборудование помещений для обогрева и отдыха работников

В качестве средств индивидуальной защиты при работе на открытом воздухе в сильные морозы применяется: теплая спецодежда, утепленные прорезиненные рукавицы, валенки на резиновом ходу, шапка - ушанка. В пасмурную дождливую погоду используются резиновые плащи и сапоги, а также резиновые верхонки.

5) Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет существенную опасность для человека, по сравнению с другими вредными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы). В рассматриваемом случае источником

электромагнитного излучения является компьютерная техника. Длительное воздействие интенсивных электромагнитных излучений промышленной частоты может вызывать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной нервной системы.

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в табл. 1.7, в соответствии с [2].

Таблица 1.7 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряжённость электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

б) Повышенное значение напряжения в электрической цепи:

Анализ электротравматизма показывает, что большинство несчастных случаев с работниками, обслуживающими электроустановки, происходит в результате потери им ориентировки при осмотрах, ремонтах и испытании. Электрические блокировки являются наиболее надёжным средством защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Они препятствуют доступу работающих к токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением. Ограничители так же, как электрические блокировки, служат для защиты людей и оборудования при неправильных действиях в процессе работы.

3.3. Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации крана возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

Для того чтобы исключить или минимизировать вред, требуется, во-первых, проводить своевременные регламентные работы по техническому обслуживанию и ремонту кранов.

Во-вторых, оперативно, квалифицированно и своевременно ликвидировать источники загрязнения при их возникновении.

Что касается электроприводов, то они рассчитаны на длительный срок службы, по истечении которого должны быть утилизированы.

Утилизируемые электроприводы демонтируются, разбираются и сортируются по различным материалам: отходы электронных деталей, черные и цветные металлы, смазочные материалы.

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

- отсортированные материалы устраниаются через упорядоченную систему утилизации, с соблюдением местных правил;

- при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

- смазочные материалы представляют опасность загрязнения водных ресурсов, поэтому не должны попасть в окружающую среду.

3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При разработке и эксплуатации проекта возможны следующие ЧС: Поражение электрическим током, пожар и падение с высоты. Наиболее типичной ЧС для моего проекта является пожар.

Причины возникновения пожара:

- Короткое замыкание в аппаратуре ПЧ
- Возгорание, плавление изоляции и клемников из-за неправильного монтажа
- Не соблюдение правил пожарной безопасности персоналом

Рассмотрим следующие превентивные меры по предупреждению

ЧС согласно РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.

- регулярные проверки уровня пожарной безопасности всего объекта, а также отдельных его участков, проводимые согласно с установленной законом периодичностью.

- организация занятий и инструктажей среди сотрудников и рабочих объекта, посвященных вопросам пожарной безопасности (ПБ)

Подготовка ИТР, рабочих и служащих по пожарной безопасности состоит из следующих основных положений:

- вводного инструктажа по пожарной безопасности;
- проводимых в структурных подразделениях регулярных инструктажей (первичного, периодического, внепланового и целевого), в тематику которых обязательно включаются вопросы пожарной безопасности;
- специальной подготовки персонала;
- занятий по пожарно-техническому минимуму для соответствующих категорий персонала;
- проведения противопожарных тренировок;
- повышения знаний (квалификации) в учебных центрах, а также при проведении семинаров и целевых совещаний (конференций) по противопожарной защите;
- изучения и проверки знаний правил пожарной безопасности. Проверка знаний и инструкций по пожарной безопасности и конкретные требования по работе с персоналом определяются

«Правилами организации работы с персоналом на предприятиях и в учреждениях энергетического производства».

Обеспечение рабочих мест средствами пожаротушения и обеспечение их исправности и правильных условий содержания .

Для тушения пожара на кране применяют сухой огнетушитель типа ОУ-2, снабженный стальным баллоном с углекислым газом, сжатым до 17 МПа.

Для приведения в действие ручного углекислотного огнетушителя ОУ-2 необходимо взять его левой рукой за рукоятку, а правой повернуть снегообразователь в сторону очага горения, затем поворотом маховичка открыть вентиль до отказа по часовой стрелке и направить струю углекислого снега на горящий предмет.

Кроме огнетушителей типа ОУ-2 можно применять огнетушители ОУ-5

и ОУ-8 с вместимостью баллона 5 и 8 л, которые по конструкции и принципу действия не отличаются от ОУ-2.

При возникновении пожара и ликвидации ее последствий придерживаемся РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности предприятий.

-При обнаружении возгорания, необходимо, по возможности, попытаться его потушить, используя специально предназначенный для этого огнетушитель. Небольшие очаги возгорания всегда можно накрыть плотной тканью, чтобы перекрыть доступ воздуха.

-прежде чем пытаться потушить пламя, возникшее на проводах, необходимо отключить электричество;

-когда начинается пожар, необходимо обязательно сообщить об этом в службу пожарной охраны. Потребуется назвать точный адрес предприятия, свою фамилию и по приезду пожарной бригады по возможности организовать доступ к месту возгорания, расчистив для них проезд;

-в случае, если огонь перекинулся на одежду, не рекомендуется бежать. В таких ситуациях необходимо попытаться лечь на землю и последовательно переворачиваться со спины на живот, потушить пламя землей, водой или снегом;

-когда приезжает пожарная охрана, руководитель предприятия должен ввести в курс дела старшего сотрудника бригады о выполненной эвакуации персонала, локализации возгорания, выполненных действиях с целью ликвидации огня.

Выводы

В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы: были выявлены вредные и опасные производственные факторы в процессе эксплуатации исследуемого оборудования. А также предложены меры по уменьшению воздействия их на организм человека.

Было уделено внимание о влияние исследуемого объекта на селитебную зону, гидросферу, атмосферу и литосферу. Был предложен ряд мер по уменьшению воздействия на перечисленные зоны.

Было уделено внимание порядку действий при возникновении ЧС на объекте и мерам по её ликвидации. Разработаны превентивные меры по предупреждению ЧС. А также были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности на объект

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Гимранову Руслану Робертовичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды - 30,2%.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT - анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение трудоемкости работ; - определение структуры работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - амортизационные отчисления; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсоэффективности
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Матрица SWOT 2. Диаграмма Гантта 3. Основные показатели эффективности НИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		20.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Гимранов Руслан Робертович		20.03.20

4 «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Цель данного раздела выпускной квалификационной работы заключается в экономическом планировании и оценке ресурсоэффективности разработки проекта по расчету электропривода переменного тока механизма подъема мостового крана.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести SWOT-анализа;
- выполнить планирование и организацию научного исследования;
- создать график Ганта;
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

4.1 SWOT-анализ по разработке проекта электрообудования и электропривод механизма подъёма мостового крана

SWOT – анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проекту по разработке электропривода мостового крана, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT будем использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 1. На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, и надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц применяются следующие обозначения:

«2» – сильное соответствие; «1» – слабое соответствие;

«0» – нет соответствия.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 2 и 3

Таблица 1 – Матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Надежность и простота электродвигателя</p> <p>С2. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя</p> <p>С3. Замена устаревшего оборудования</p> <p>С4. Плавность и точность подъёма</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость оборудования</p> <p>Сл2. Большие затраты на ремонт оборудования</p> <p>Сл3. Необходимость обучения персонала новому оборудованию</p> <p>Сл4. Большое количество времени на ремонт преобразователя частоты, в случае выхода его из строя</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование такой же системы на другом крановом оборудовании</p> <p>В2. Установка дистанционного управления</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Ошибочные действия персонала при работе и ремонте</p>

Таблица 2 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	В1	2	2	1	1
	В2	1	1	1	2
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	1	1	1	1
	В2	1	0	1	1

Таблица 3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	У1	1	1	1	1
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	1	1	2	2

Таблица 4 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Надежность и простота электродвигателя С2. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя С3. Замена устаревшего оборудования С4. Плавность и точность подъёма	Слабые стороны проекта: Сл1. Высокая стоимость оборудования Сл2. Большие затраты на ремонт оборудования Сл3. Необходимость обучение персонала новому оборудованию Сл4. Большое количество времени на ремонт преобразователя частоты, в случае выхода его из строя
Возможности: В1. Использование такой же системы на другом крановом оборудовании В2. Установка дистанционного управления	В1 С1 С2 В2 С4	
Угрозы: У1. Ошибочные действия персонала при работе и ремонте		У1 Сл3 Сл4

В1С1 – В связи с надёжностью и простотой электродвигателя имеет смысл применять такую же систему на другом крановом оборудовании.

В1С2 – При использовании частотного преобразователя происходит значительная экономия электроэнергии, поэтому для предприятия будет выгодно применять такую же систему на другом крановом оборудовании.

В2С4 – При использовании дистанционного управления рабочий может выполнять операции с большей точностью т.к. будет находиться ближе к месту погрузки (разгрузки).

У1Сл3 – При эксплуатации нового оборудования возможны поломки и неисправности. Для их предотвращения необходимо обучение персонала.

У1Сл4 – При ошибочных действиях персонала при работе с преобразователем частоты возможны поломки или неисправности. Поэтому на ремонт может потребоваться большое время, т.к. для их устранения требуется квалифицированный наладчик.

В результате проведения SWOT-анализа разработана маркетинговая стратегия, которая дает возможность для данного проекта более правильно спроектировать

электропривод, уменьшить срок окупаемости и эффективно провести экономический расчет, чтобы учесть все непредвиденные расходы вследствие потенциальных внешних угроз.

4.2. Разработка графика проведения работ технического проекта

Для выполнения проектных и пуско-наладочных работ формируется рабочая группа, в состав которой входят:

1. Руководитель;
2. Инженер;

Необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения технического проекта и ПНР, провести распределение исполнителей по видам работ.

4.2.1. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в таблице 6.

Таблица 5 – Обозначение величин

Обозначение	Расшифровка	Единицы измерения
$t_{ожі}$	Ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы	чел.-дни
t_{mini}	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы	чел.-дни
t_{maxi}	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы	чел.-дни
T_{ki}	Продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях	дни
T_{pi}	Продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях	дни

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5},$$

Результаты расчетов приведены в таблице 6.

4.2.2. Разработка последовательного комплекса работ проекта

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Гантта. Диаграмма Гантта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

В приведенной ниже таблице 7 номерам этапов работы соответствуют следующие виды выполняемых работ:

№ 1 – разработка технического задания (ТЗ) – включает в себя изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – электрические схемы соединения; параметры двигателя и др. нагрузки;

№4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет параметров схем замещения;

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов заключается в выявлении имеющихся в программе ошибок. Цель отладки состоит в выявлении и устранении причин ошибок;

№6 – выбор оборудования – выбрать приводной асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для привода подъёма мостового крана и частотный преобразователь;

№ 7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATHCAD, построение переходных процессов в среде MATLAB;

№ 8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – Расчет и построение семейства механических $\omega(M_{эм})$ и электромеханических $\omega(I_1)$ характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATHCAD;

№ 9 – пуско-наладочные работы – настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения, снятие и настройка необходимых характеристик, и сопоставление их с расчетными данными проекта;

№ 10 – оформление пояснительной записки – включает в себя: сведения о проекте, основание для разработки, цели, назначение и область использования системы, технические и организационные мероприятия, окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником;

№ 11 – сдача проекта – подготовка к защите и защита проекта.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 7.

№ этапа работы	Вид работы	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\min} , чел.- дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\max} , чел.- дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	Продолжительно сть одной работы, T_p , раб.дн.
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Инженер	7	12	9	9
3	Сбор исходных данных	Инженер	4	6	4,8	5
4	Подготовка данных для ввода в базу	Инженер	4	6	4,8	5
5	Отладка данных и проведение расчетов	Инженер	8	12	9,6	10
6	Выбор оборудования	Инженер	7	11	8,6	10
		Руководитель	1	1	1	1
7	Расчёт и проверка модели АД	Инженер	8	12	9,6	11
		Руководитель	1	1	1	1
8	Расчёт и проверка модели АД- ПЧ	Инженер	8	12	9,6	11
		Руководитель	1	1	1	1
9	Пуско-наладочные работы	Руководитель	16	19	17,2	17
		Инженер	16	19	17,2	17
10	Оформление пояснительной записки	Инженер	8	12	9,6	10
11	Сдача проекта	Инженер	1	1	1	1
		Руководитель	1	1	1	1

Таблица 7 – Диаграмма Гантта

№ этапа работ	Вид работ	Исполнители*	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам									
				Март	Март	Март	Апрель	Апрель	Апрель	Май	Май	Май	Июнь
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление ТЗ	Р	1	■									
2	Сбор и изучение литературы	И	9	■	■								
3	Сбор исходных данных	И	5		■								
4	Подготовка данных для ввода в базу	И	5		■	■							
5	Отладка данных и проведение расчетов	И	10			■	■						
6	Выбор оборудования	И	10			■	■						
		Р	1				■						
7	Расчёт и проверка модели АД	И	11				■	■					
		Р	1					■					
8	Расчёт и проверка модели АД-ПЧ	И	11					■	■				
		Р	1						■				
9	Пуско-наладочные работы	Р	17						■	■	■		
		И	17						■	■	■		
10	Оформление пояснительной записки	И	10									■	
11	Сдача проекта	Р	1										■
		И	1										■

* «И» – Инженер, «Р» – Руководитель.

Таким образом, исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы: руководитель 22 дня, инженер 89 дней.

4.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование;
- полная заработная плата исполнителей разработки ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как соединительные провода, шлейфы и т.д. укомплектованы вместе с оборудованием.

4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование

Стоимость специального оборудования приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Стоимость специального оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, тыс. руб.
Электродвигатель 5A225S8K (18,5кВт)	1	62
Преобразователь частоты Schneider Electric ATV930 (18,5кВт)	1	86
Итого	148 тыс. руб.	

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{об} = Ц \cdot k$$

где Ц – сумма затрат на специальное оборудование;

k – Коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы равный 1,20.

$$C_{об} = 148 \cdot 1,20 = 177,6 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, затраты на специальное оборудование составляют 177,6 тыс. руб.

4.3.3. Расчёт полной заработной платы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$):

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d},$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 9 – Основная заработная плата исполнителей

Работники	Заработная плата по окладу руб.	Доплаты и надбавки, руб. (коэфф. премии)	Районная доплата, руб. (30%)	Зарплата месячная, руб.	Средняя заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	30 000	11 500	6 900	41 400	1 882	22	41 404
Инженер	18 000	9 000	5 400	32 400	1 472	89	131 008
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.							172 412

Таким образом, основная заработная плата получилась 172 412 руб., что занимает основную часть бюджета затрат проекта.

4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Значения расчётов дополнительной и полной заработной платы приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Дополнительная и полная заработная плата

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	41 404	6 210,6	47 614,6
Инженер	0,12	131 008	15 720,96	146 728,96
Итого		172 412	21 931,56	194 344

4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органами государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется 81

исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2020 году равен 30,2%.

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 145\,541 = 65\,312 \text{ руб.}$$

Таким образом, отчисления во внебюджетные фонды составили 65 312 руб.

4.3.6. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб} + З_{м} + А) \cdot 0,16$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Значения расчётов накладных расходов приведены в таблице 11.

4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная выше величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	-	-
2. Затраты на специальное оборудование	148 000	31,3
3. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	194 344	41,1
4. Отчисления во внебюджетные фонды	65 312	13,8
5. Накладные расходы	65 224	13,8
Итого	472 880	100,0

Бюджет затрат проекта составляет 472 880 руб. Основной процент бюджета составляет основная заработная плата, равная 194 344 руб.

4.4 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научного исследования определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – балльная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию привода подъёма мостового крана рассмотрены следующие критерии:

- надежность – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях электросетей, не гарантирующих стабильного напряжения),
- энергосбережение – это экономия электрической энергии. Она достигается за счет использования частотного преобразователя;

- помехоустойчивость – это способность сигнала противостоять действию помех (т.е. сохранять содержащуюся в нём информацию, несмотря на действие помех), достигается за счет классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости;

- удобство в эксплуатации;

- рост производительности труда пользователя – это показатель, характеризующий результативность труда, осуществляется в проекте благодаря повышению уровня автоматизации, что способствует росту производительности труда.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработка
1. Надежность	0,25	5
2. Энергосбережение	0,20	5
3. Материалоемкость	0,15	4
4. Помехоустойчивость	0,15	4
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5
6. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 4 \cdot 0,1 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства. Сильные стороны проекта: надежность и простота электродвигателя, экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя, замена устаревшего оборудования, плавность и точность подъёма.

2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из четырех человек: руководитель и бакалавр-проектировщик, инженер – программист, инженер-наладчик. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости сотрудников исследовательского проекта составила 111 дней (руководитель 22 дня, инженер 89 дней). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Ганта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это пуско-наладочные работы.

3. Бюджет научно-технического исследования составил 472 880 руб. Бюджет НТИ состоит из амортизационных отчислений (14 750 рублей), затрат на оплаты труда (194 344 рублей), отчислений во внебюджетные фонды (65 312 руб.) и накладных расходов (65 224 руб.).

4. Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении ничуть не уступает остальным вариантам с позиции ресурсосбережения.

5. Таким образом капиталовложения в размере 472 880 руб. позволят реализовать разработанный проект по расчету электропривода переменного тока механизма подъема мостового крана.

Заключение

В ходе выполнения работы был выполнен обзор современного электропривода мостовых кранов и выявлены проблемы, которые присутствуют в крановом электроприводе.

В данной работе был рассмотрен и рассчитан частотно-регулируемый электропривод переменного тока. ЭП питается от 3х – фазной промышленной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В частотой 50 Гц.

Произведен расчет системы управления электроприводами механизма.

С помощью имитационной модели, собранной в приложении Simulink программы MATLAB, была представлена работа мостового .

В экономической части выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы планирования, проведения пуско-наладочных работ электропривода мостового крана. Составлена смета на проведение ПНР и построен график выполнения пуско-наладочных работ и занятости исполнителей, а так же доказана экономическая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода.

В разделе безопасности и экологичности проекта освещены вопросы: производственной безопасности; экологической безопасности; рассмотрены вероятные чрезвычайные ситуации при работе мостового крана.

Conclusion

In the course of work the review of the modern electric drive of bridge cranes has been executed and problems which are present at the crane electric drive are revealed.

In given to work the frequency and adjustable electric drive of alternating current has been considered and calculated. The EDS eats from the 3rd – the phase industrial alternating current main with linear voltage of 380 V with a frequency of 50 Hz.

Calculation of a control system of electric drives of the mechanism is made.

By means of the imitating model collected in the Simulink application of the MATLAB program work of bridge has been presented.

In an economic part of final qualification work questions of planning, carrying out balancing and commissioning of the electric drive of the bridge crane are considered. The estimate on carrying out the Party of Russian Taxpayers is made and the schedule of performance of balancing and commissioning and employment of performers is constructed, and the economic feasibility from introduction of the designed electric drive is also proved.

In the section of safety and environmental friendliness of the project questions are taken up: production safety; ecological safety; probable emergency situations during the operation of the bridge crane are considered.

Список использованных источников

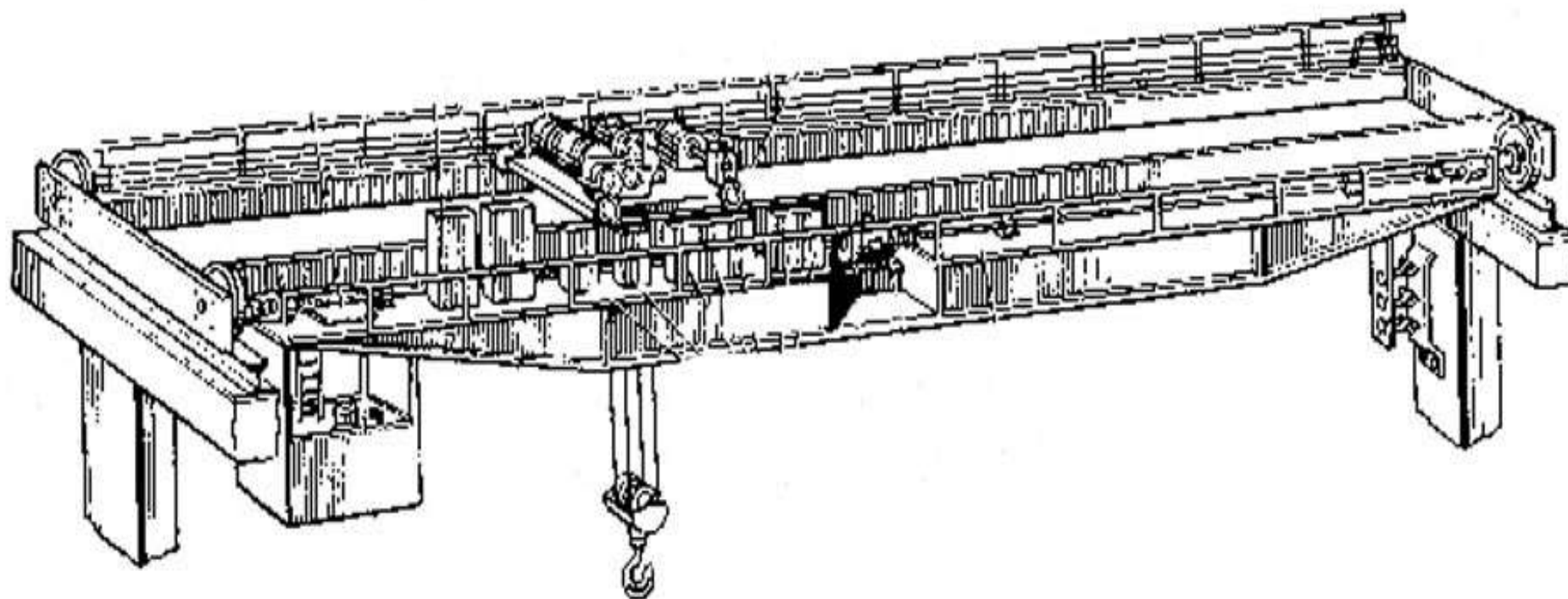
1. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
2. А. Б. Парницкий. Мостовые краны общего назначения: Конструкция, расчет, эксплуатация / А. Б. Парницкий, А. П. Шабашов. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Машгиз. [Урал-Сиб. отд-ние], 1961. – 319 с., 2 л. черт. : ил.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00). М.: ПИО ОБТ, 2000. – 268 с.
4. Шишков Н.А. Надежность и безопасность грузоподъемных машин. – М.: Недра, 1990. – 252 с.
5. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00). – М.: ПИО ОБТ, 2000. – 268 с.
6. Продажа кранового оборудования, его обслуживание, монтаж, реконструкция и модернизация [Электронный ресурс]. – URL: <http://dvesta.com> – Загл. с экрана. (дата обращения: 15.02.2014)
7. Гохберг М.М. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций/ В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; Под общ. ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 536 с.: ил.
8. Кацман М.М., Справочник по электрическим машинам: Учебное пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.
9. Чернышев А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие/ А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 218 с.
10. Удуг Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 8. – Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд-во. ТПУ, 2010. – 448 с.
11. Ермоленко В.А. Расчет механизма подъема груза мостового крана – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 32 с.

12. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.
13. Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
14. Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
15. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197;
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1.1340-03. «Гигиеническими требованиями к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 15.06.2003 г.
17. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартиформ, 2016.
18. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 13.06.2003 г.
19. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.– М.: Минрегион России, 2016
20. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 г.
21. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.– М.: ИПК Издательство стандартов, 1976
22. СНиП 21-01-97 от 1998-01-01 Пожарная безопасность зданий и сооружений.

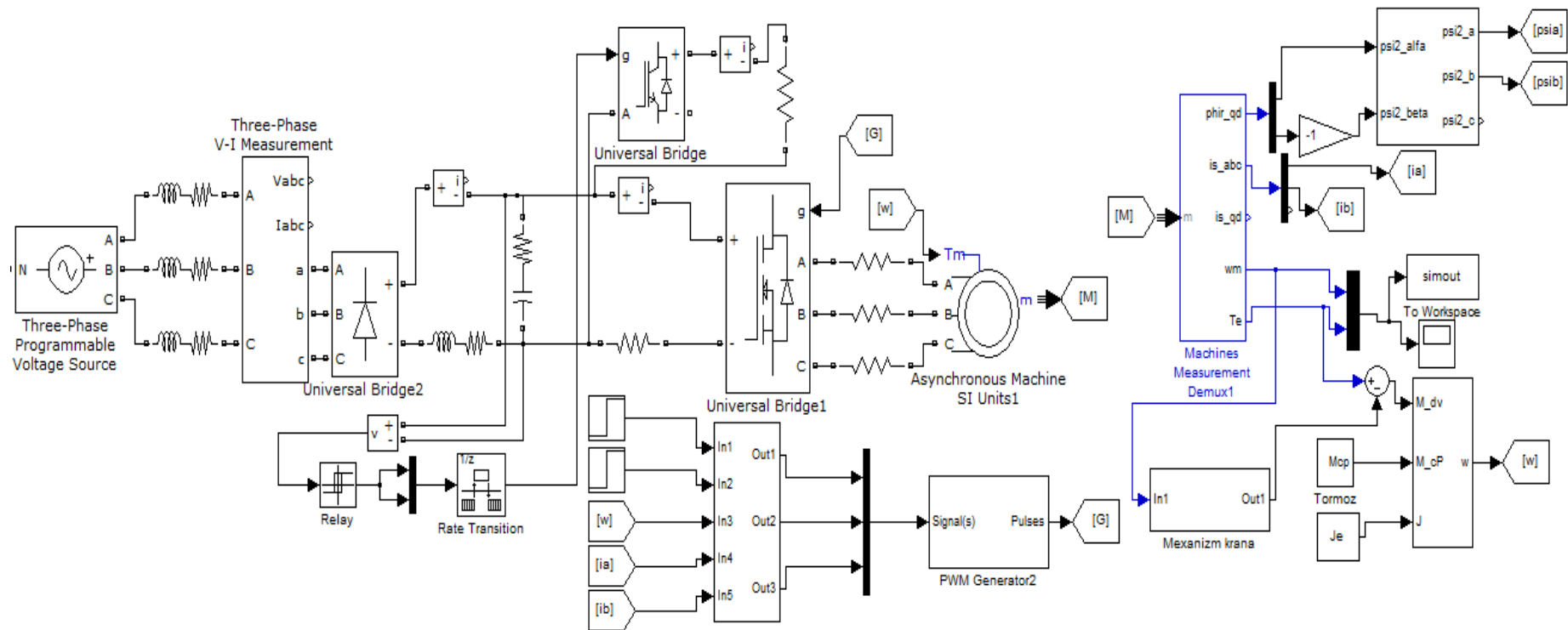
Приложение А

Графический материал

Общий вид мостового крана



Имитационная модель механизма подъема мостового крана



Диаграммы электромагнитного момента $M_{эм}(t)$, скорости вращения $\omega(t)$ и фазного тока $i_{\phi}(t)$ двигателя

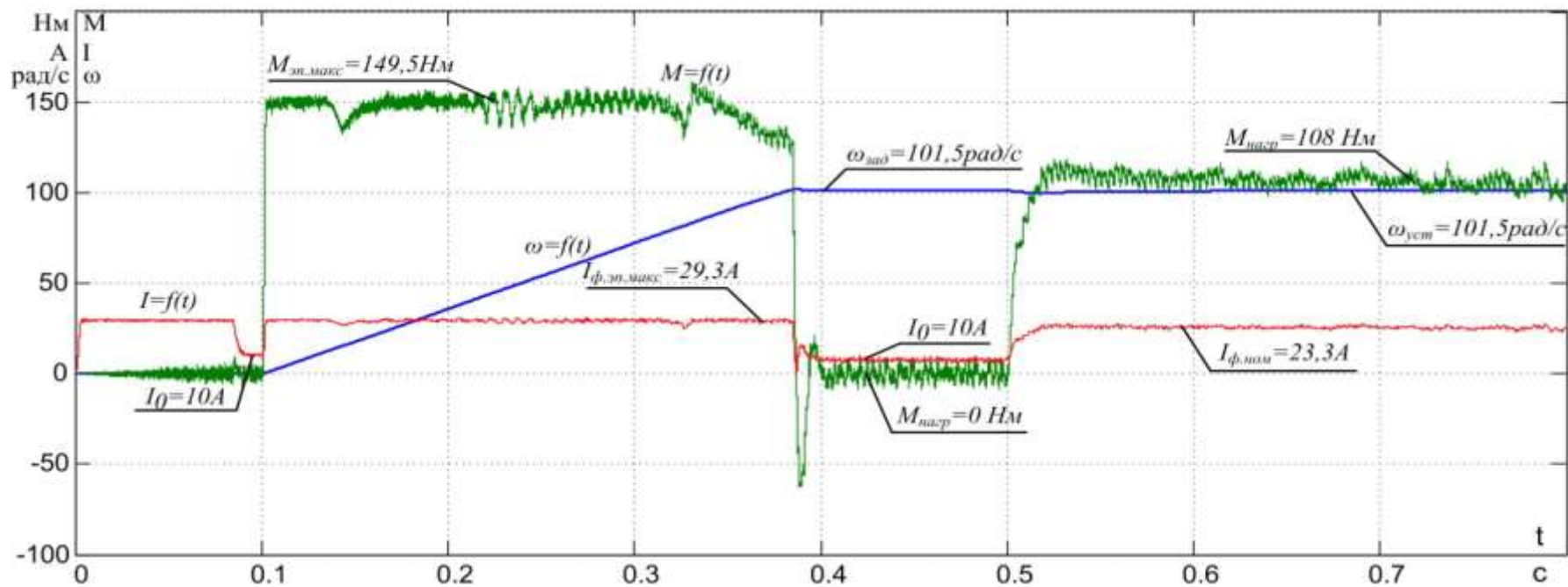


Диаграмма Ганта

№ этапа работ	Вид работ	Исполнитель	Продолжительность	Продолжительность выполнения работ										
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1

			одной работы дн.											
1	Составление технического задания	Р	1	-										
2	Изучение справочной литературы и документации	Д	7		-----									
3	Подготовка исходных данных	Д	9			-----								
4	Обработка и ввод данных в программу Mathcad	Д	9				-----							
5	Расчет нагрузок в программе Mathcad	Д	12					-----						
6	Выбор технологического оборудования	Д	9						-----					
		Р	1						--					
7	Расчет электропривода и его элементов, построение рабочих характеристик	Д	9							-----				
		Р	1							--				
8	Проверка оборудования	Д	9								-----			
		Р	1								--			
9	Настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения;	Иэ	17									-----	----	
		Ип	17										-----	----
10	Оформление пояснительной записки	Д	9											-----
11	Сдача проекта	Р	1											--
		Д	1											--

Условное обозначение исполнителей: Р – руководитель, Д – дипломник, Иэ – инженер-электронщик, Ип – инженер-программист.